МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

М. А. ОНАЦЕВИЧ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МАГНИТОФОНОВ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 763

М. А. ОНАЦЕВИЧ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ МАГНИТОФОНОВ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1971

6Ф2.7
О 58
УДК 621.313.173.23:681.84

Онацевич М. А.

О 58 Электродвигатели постоянного тока для магнитофонов, М., «Энергия», 1971.

96 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 763).

Рассматриваются электродвигатели портативных магнитофонов, питающиеся от автономных источников питания, приводятся рекомендации по эксплуатации, регулировке и схемам включения, а также технические данные отечественных электродвигателей.

Брошюра рассчитана на квалифицированных радиолюбителей и специалистов, занимающихся магнитной звукозаписью.

3-4-5
317-71

6Ф2.7

Онацевич Михаил Александрович

Электродвигатели постоянного тока для магнитофонов

Редактор *Ф. М. Юферов*
Обложка художника *А. И. Иванова*
Технический редактор *Л. Н. Кузнецова* Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 20/II 1970 г. Подписано к печати 19/I 1971 г. Т-03016
Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 5,04 Уч.-изд. л. 6,94
Тираж 50 000 экз. Цена 28 коп. Зак. 1375

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электродвигатели постоянного тока малой мощности — микроэлектродвигатели применяются в различных областях техники, в частности в аппаратуре магнитной записи — магнитофонах. Электродвигатели магнитофонов отличаются от остальных электрических машин малой мощности как своими характеристиками, так и конструкцией. Наибольшее распространение получили электродвигатели с постоянными магнитами, рассчитанные на применение в портативных магнитофонах с автономным питанием.

В этой брошюре автор знакомит читателей с особенностями электродвигателей, предназначенных для магнитофонов, рассматривает ряд вопросов, возникающих у радиолюбителей, занимающихся эксплуатацией и ремонтом электродвигателей малой мощности, Большое место отведено описанию способов стабилизации скорости вращения, которые недостаточно освещены в отечественной популярной литературе. Отдельная глава посвящена бесконтактным электродвигателям постоянного тока, приходящим на смену коллекторным. Рассмотрены электрические и магнитные помехи, приведены рекомендации по борьбе с ними. В конце брошюры представлены технические данные и рабочие характеристики электродвигателей портативных магнитофонов отечественного производства.

М. Онацевич

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАГНИТОФОНОВ

Требования к электродвигателям для магнитофонов весьма разнообразны и зачастую противоречивы. К наиболее характерным из них относятся следующие:

Высокое постоянство скорости вращения при больших перепадах напряжения источника питания и нагрузки.

Высокий к. п. д. при минимальных размерах, малом весе и относительно небольшой скорости вращения.

Ограниченные внешние электромагнитные поля рассеяния и возможность экранировки.

Бесшумность работы и минимальная вибрация.

Работа в произвольном положении.

Минимальный нагрев.

Длительный срок службы, высокая надежность.

Подавляющее большинство магнитофонных электродвигателей, выпускаемых нашей промышленностью, рассчитано на применение в портативных магнитофонах переносного типа с автономным питанием от химических источников энергии — батарей, герметичных аккумуляторов. Это накладывает ограничение на мощность, к. п. д., габаритные размеры двигателей и отражается на их конструкции. Номинальная мощность таких двигателей обычно не превосходит 1,2 *вт* и чаще всего лежит в пределах 0,4—0,8 *вт*, снижаясь в самых миниатюрных образцах до 0,10—0,08 *вт*.

Для повышения к. п. д. все электродвигатели выполняются с возбуждением от постоянных магнитов, что заметно улучшает их экономичность. Значение к. п. д. в среднем составляет 50%, а у лучших образцов достигает 80%. Такой высокий к. п. д. при столь малой мощности на валу удается получить благодаря слабому использованию активных материалов (меди и стали), хорошей обработке коллектора, полировке шеек вала и т. д.

Слабое использование активных материалов позволяет также снизить нагрев и внешние магнитные поля рассеяния электродвигателей, что способствует уменьшению излучаемых помех и позволяет экранировать двигатели тонкими ферромагнитными экранами. Вследствие слабого использования материалов размеры и вес получаются больше, чем у эквивалентных по мощности электродвигателей общепромышленного применения.

Скорость вращения электродвигателей магнитофонов отличается от скорости большинства коллекторных машин и чаще всего не пре-

вышает 3 000 *об/мин.* Низкая скорость вращения позволяет свести к минимуму акустический шум и вибрацию, а также уменьшить износ подшипников, коллектора, щеток и обеспечить длительный (до 3 000—5 000 *ч*) срок непрерывной работы без ремонта.

Тщательная притирка щеток коллектора электродвигателей обеспечивает хорошую безискровую коммутацию, что очень важно, так как радиопомехи от искрения щеток доставляют немало забот конструкторам магнитофонов.

Государственный стандарт на магнитофоны (ГОСТ 12392-66 «Магнитофоны бытовые») предусматривает поддержание постоянства средней скорости звуконосителя с точностью ±2 и ±3% номинальной в зависимости от класса магнитофона. Исходя из этого, скорость приводного двигателя должна стабилизироваться по крайней мере с точностью ±1 и ±1,5%. Современные электродвигатели вполне обеспечивают такую точность. В лучших образцах она достигает ±0,2% и в случае надобности с помощью специальных устройств может быть еще повышена.

Магнитофонные электродвигатели, как правило, не имеют крепежных фланцев и лапок. Их крепление осуществляется за корпус, который в целях снижения вибрации платы магнитофона и заглушения шума изолируется амортизирующими прокладками из пористых материалов. С этой же целью якоря двигателей тщательно балансируются (преимущественно динамически), зубцы якорей или полюсов статора скашиваются, а сам статор часто делается массивным и без отверстий, через которые может распространяться шум щеток и подшипников.

Электродвигатели магнитофонов отличаются высокой точностью изготовления. Большая часть их проходит индивидуальную регулировку. Все это отличает электродвигатели магнитофонов от электродвигателей промышленного применения (авиационных, электродвигателей различных автоматических устройств). Попытки замены специальных электродвигателей магнитофонов, как правило, приводят к ухудшению тех или иных качественных показателей магнитофона.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Ниже приводятся основные понятия и наиболее употребительные расчетные формулы, а также единицы измерения.

Электродвижущая сила (э. д. с.). По закону электромагнитной индукции в проводнике, пересекающем магнитное поле, наводится э. д. с., величина которой прямо пропорциональна магнитной индукции B, длине активной части проводника l и скорости движения проводника относительно магнитного поля v:

$$E \equiv Blv. \quad (1)$$

Согласно этому закону э. д. с., наводимая в обмотке якоря электродвигателя, прямо пропорциональна скорости вращения n и магнитному потоку Φ:

$$E \equiv n\Phi. \quad (2)$$

Электромагнитная сила, действующая на проводник с током, расположенный в магнитном поле, прямо пропорциональна индукции B, длине активной части проводника l и току в проводнике I:

$$F_{эм} \equiv BlI, \quad (3)$$

Вращающий момент и момент нагрузки на валу в общем виде определяются как произведение силы на плечо, к которому эта сила приложена:

$$M=Fr, \quad (4)$$

где M — момент в граммо-сантиметрах ($Г \cdot см$);
F — сила в граммах силы ($Г$);
r — плечо — расстояние от оси вращения до точки приложения силы (радиус шкива) в сантиметрах ($см$).

Вращающий момент, который развивает якорь двигателя,

$$M=3{,}25w\Phi I \cdot 10^3, \ Г \cdot см. \quad (5)$$

Здесь: w — число витков якоря;
Φ — магнитный поток в веберах ($вб$);
I — ток якоря в амперах (a).

Вращающий момент на валу двигателя будет меньше, так как часть момента M будет затрачена на покрытие потерь внутри двигателя (трение в подшипниках, перемагничивание стали).

Скорость вращения двигателя определяется соотношением

$$n=\frac{U-IR}{C\Phi}, \quad (6)$$

где U — напряжение питания;
I — ток якоря;
R — сопротивление якоря;
Φ — магнитный поток;
C — коэффициент пропорциональности (зависит от конструктивных особенностей).

Мощность, развиваемая двигателем на валу (полезная),

$$P_2=1{,}028Mn \cdot 10^{-5}, \quad (7)$$

где P_2 — мощность на валу в ваттах ($вт$);
M — момент нагрузки на валу, $Г \cdot см$;
n — скорость вращения, $об/мин$.

Мощность потребляемая — мощность, которая подводится к двигателю от источника питания,

$$P_1=UI, \quad (8)$$

где P_1 — мощность, $вт$;
U — напряжение на двигателе, $в$;
I — ток двигателя, a.

Коэффициент полезного действия показывает в процентах, какая часть всей подведенной мощности превращается в полезную мощность на валу:

$$\eta=\frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \quad (9)$$

где η — к. п. д., %;
P_1 и P_2 — потребляемая мощность и мощность на валу, $вт$.

Иногда к. п. д. выражается в долевых единицах как отношение P_2/P_1; η всегда меньше единицы.

Центробежная сила действует на все вращающиеся тела (проводники обмотки, грузы регулятора и т. п.) в направ-

леиии от оси вращеиия к периферии:

$$F_{ц}=1,11Grn^2\cdot 10^{-5}, \qquad (10)$$

где $F_{ц}$ — центробежная сила, *Г*;

G — вес тела, *Г;*

r — расстояние от оси вращения до центра тяжести тела, *см*;

n — скорость вращения, *об/мин.*

В настоящее время к применению рекомендована международиая система единиц СИ. За единицу силы в этой системе принят ньютон (*н*), за единицу длины — метр (*м*). Момент как производная от них получается в ньютоио-метрах (*н·м*). Однако ввиду отсутствия соответствующей аппаратуры и неудобства пересчета (1 *Г* силы равен $9,81\cdot 10^{-3}$ *н*) иа практике для вращающего момента продолжают пользоваться системой единиц МКГСС, в которой сила измеряется в граммах (*Г*), а момеит — в граммо-сантиметрах (*Г·см*). Для измерения скорости повсеместно применяется внесистемная единица — оборот в минуту (*об/мин*).

В дальнейшем при зиакомстве с двигателями с возбуждением от постоянных магнитов придется встречаться с единицами для измерения магнитной индукции и напряженности поля. В системе СИ индукция измеряется в теслах (*тл*), а напряженность магнитного поля — в амперах на метр (*а/м*), но в обращении еще нередко встречаются единицы старой системы СГСМ, которые применялись до введения системы СИ: гаусс (*гс*) и эрстед (*э*) (1 *гс* равен 10^{-4} *тл*, а 1 *э* равен 80 *а/м*).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Свойства электродвигателей определяются совокупностью характеристик, основными из которых являются рабочие, регулировочные и пусковые. Рабочие характеристики определяют свойства электродвигателя в установившемся режиме работы совместно с механизмом. Без учета рабочих характеристик немыслимо грамотное использование электродвигателя.

У электродвигателей магнитофонов, большинство которых имеет регуляторы скорости вращения, различают два вида рабочих характеристик:

а) при включении двигателя без регулятора (естественные характеристики);

б) при включении двигателя с регулятором (искусственные характеристики).

Характеристики могут быть представлены либо в виде таблиц, либо в виде графиков. Графическое изображение характеристик предпочтительнее — оно дает более наглядное представлеиие о свойствах машины. По графикам можно определять данные, необходимые для проектирования механизмов и правильного использования двигателей. Например, заранее можно определить ток, потребляемый двигателем магнитофона, найти перепад скоростей в конкретных условиях работы, определить допустимые пределы изменений напряжения и нагрузки на валу, возможные отступления от номиналов, указанных в паспорте электродвигателя, и ряд других не менее важных сведеиий.

Рабочими характеристиками электродвигателей широко пользуются для определения нагрузки механизмов в целом и по узлам.

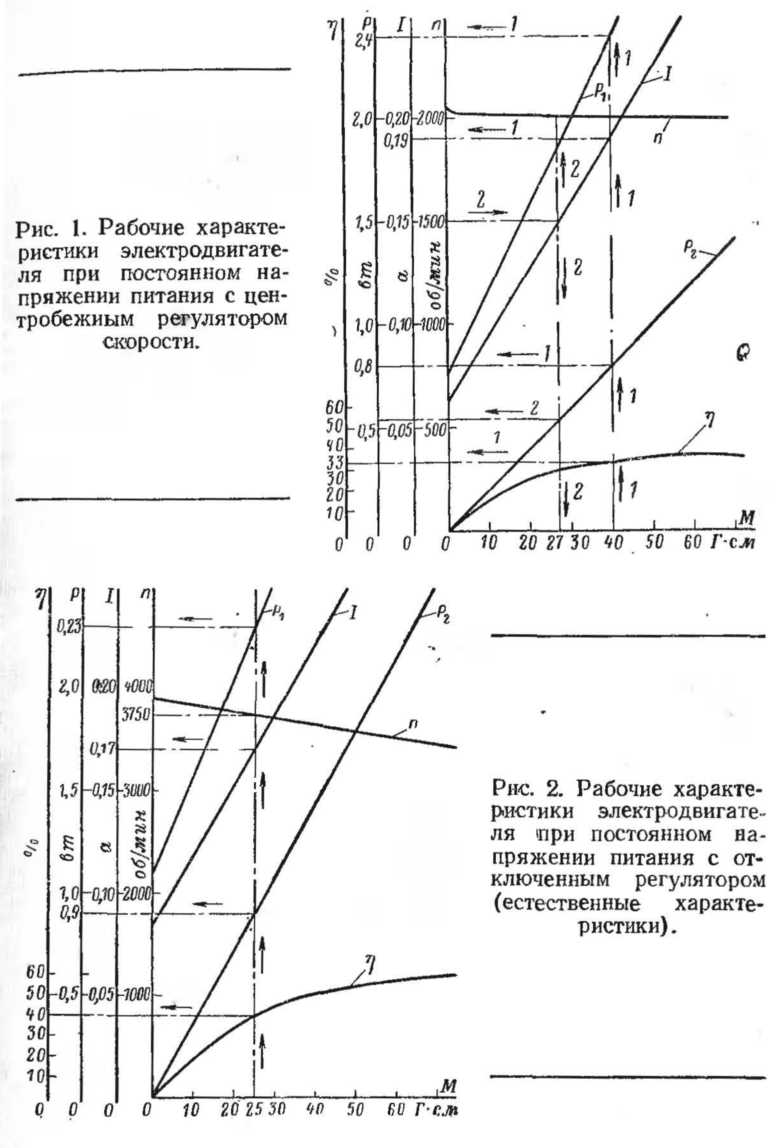


Рис. 1. Рабочие характеристики электродвигателя при постоянном напряжении питания с центробежиым регулятором скорости.

Рис. 2. Рабочие характеристики электродвигателя при постоянном напряжении питания с отключенным регулятором (естественные характеристики).

На рис. 1, 2 и 3 представлены типичные рабочие характеристики электродвигателя магнитофона. Рис. 1 иллюстрирует характеристики двигателя с регулятором. Штрих-пунктирной линией *1* показан порядок определения потребляемого тока *I*, к. п. д. η, мощности на валу P_2 и потребляемой мощности P_1 по известному

нагрузочному моменту $M=40$ *Г·см* (ток $I=0,19$ *а*; к. п. д. $\eta=33\%$; мощность на валу $P_2=0,8$ *вт*; потребляемая мощность $P_1=2,4$ *вт*).

Если известен ток двигателя, то по графикам можно найти мощность, момент нагрузки и т. д. Штрих-пунктирной линией *2* на рис. 1 показано, как по току $I=0,15$ *а* найдены момент нагрузки на валу $M=27$ *Г·см*, мощность на валу $P_2=0,54$ *вт*, потребляемая мощность $P_1\approx1,9$ *вт* и к. п. д. $\eta=28\%$.

На рис. 2 показаны характеристики того же электродвигателя с отключенным регулятором (естественные характеристики). Штрих-пунктирная линия показывает последовательность определения параметров электродвигателя по известному нагрузочному моменту $M=25$ *Г·см* ($I=0,17$ *а*; $n=3\,750$ *об/мин*; $P_1=0,23$ *вт*; $\eta=39\%$). Определение параметров двигателя по известным току, скорости и т. д. производится аналогично тому, как это показано на рис. 1.

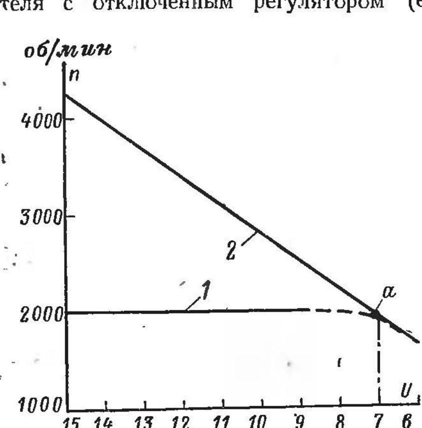


Рис. 3. Зависимость скорости вращения от напряжения при постоянной нагрузке на валу.

1 — с регулятором (скорость стабилизирована); *2* — с отключенным регулятором (естественная характеристика).

Наряду с рабочими характеристиками представляют интерес характеристики, которые отражают зависимость скорости вращения от напряжения питания двигателя.

На рис. 3 показана зависимость $n=f(U)$ при постоянном моменте нагрузки на валу $M=\text{const}$. Графики $n=f(U)$ позволяют судить, как изменяется скорость вращения по мере разряда батарей питания, в режиме работы с регулятором (кривая *1*) и без регулятора (кривая *2*). По точке *а* пересечения кривых определяется нижняя граница напряжения ($U=7$ *в*), которую нельзя переходить при данном моменте нагрузки на валу, так как на более низком напряжении независимо от того, включен или не включен регулятор, стабилизации скорости не будет — двигатель выходит на естественную характеристику.

Иногда в графической форме приводится лишь часть кривых с таким расчетом, что недостающие данные могут быть получены по формулам, приведенным выше. Исходные данные для расчета берут из графиков. Например, если отсутствует кривая потребляемой мощности P_1, но известны кривая потребляемого тока I и напряжение питания U, то мощность P_1 может быть получена расчетом по формуле (8).

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

РАЗНОВИДНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

В магнитофонах получили широкое распространение электродвигатели в обычном исполнении с неподвижными магнитами возбуждения на статоре и обмоткой якоря, заложенной в пазы вращающегося стального сердечника; электродвигатели, якорь которых не имеет стального сердечника, и совершенно новый вид электродвигателей постоянного тока с вращающимся магнитом и неподвижной обмоткой (бесщеточные, бесколлекторные электродвигатели), которые в отечественной литературе больше известны под названием бесконтактных электродвигателей постоянного тока. Несмотря на различия в конструкции, они имеют общие особенности, которые позволяют разделить все электродвигатели на группы и рассматривать особенности, присущие каждой группе, не прибегая к анализу отдельных электродвигателей.

Если за основу взять особенности магнитной системы (устройство магнитов, полюсов, якоря), то все двигатели постоянного тока портативных магнитофонов можно разделить на четыре группы. Зная характерные признаки каждой из них, любой электродвигатель можно отнести к той или иной группе и заранее предсказать его свойства (возможность разборки, необходимость и способы экранировки, приемы намагничивания и др.).

Рис. 4. Магнитные системы электродвигателей первой группы.

а — со скобообразными магнитами; *б* — с кольцевым магнитом; *в* — с торцевым магнитом.

Группа первая. В эту группу объединяются электродвигатели с неподвижными магнитами и вращающимся якорем со стальным сердечником. Магниты возбуждения у них расположены снаружи якоря (рис. 4). Намагничивающая сила (н. с.) направлена по длине магнита. Это значит, что в поперечном разрезе двигателя длина рабочей части магнитов больше их ширины и магнитный поток Φ направлен вдоль магнитов. Путь магнитного потока в магнитопроводе (постоянных магнитах, полюсах и якоре) показан пунктирной линией со стрелками. Направление намагничения магнита обозначено латинскими буквами N—S.

В первую группу входят следующие электродвигатели:

Электродвигатели со скобообразными магнитами (рис. 4,*а*), магнитная система которых состоит из двух скобообразных магнитов *1* с полюсами *2* из магнитомягкой стали, корпуса *3* из немагнитного материала и якоря *4*. Конструкции со скобообразными магнитами отличаются хорошим заполнением внутреннего пространства, но сложны в изготовлении.

Электродвигатели с кольцевым магнитом (рис. 4,*б*). Они имеют магнитную систему, состоящую из кольца *1*, представляющего собой цилиндр со сквозным отверстием, чаще всего с плоскими гранями снаружи, и якоря *2*. Кольцевой магнит не имеет явно выраженных полюсов. Полюсы *N—S* образуются на внутренней поверхности кольца напротив граней во время намагничивания. Конструкции электродвигателей с кольцевым магнитом предельно просты и получили по этой причине широкое распространение.

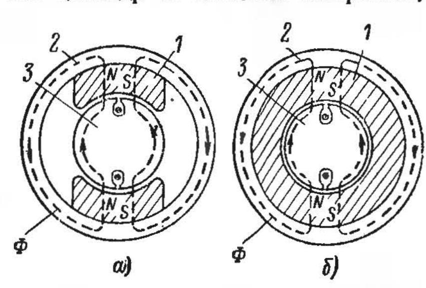


Рис. 5. Магнитные системы электродвигателей второй группы.

а — с радиальными магнитами; *б* — с кольцевым магнитом.

Электродвигатели с торцевым магнитом (рис. 4,*в*). Их магнитная система состоит из одного плоского магнита *1*, расположенного в торце двигателя, двух полюсов *2* из мягкой стали, вытянутых вдоль корпуса *3* из немагнитного материала, и якоря *4*. В конструктивном отношении электродвигатели с торцевым магнитом самые сложные среди электродвигателей первой группы и применяются в тех случаях, когда необходимо получить машину с возможно меньшим диаметром. При этом длина машины соответственно возрастает.

Двигателям первой группы характерно то, что все прилегающие к магнитам и полюсам детали, включая корпус, не проводят магнитный поток (изготовляются из немагнитных материалов). Магниты, применяемые в электродвигателях этой группы, имеют относительно невысокую коэрцитивную силу H_c (до 50 *ка/м*) и большую остаточную индукцию B_r (до 1,3 *тл*). Чаще всего используются сплавы марок ЮНД, ЮНДК-24 и им подобные, но могут применяться и дешевые (литые и металлокерамические магниты с низкой удельной энергией). Якорь электродвигателей первой группы представляет собой цилиндр с пазами, который набирается из штампованных листов электротехнической стали. Листы изолируются друг от друга слоем изоляционного лака. Обмотка располагается в пазах.

Типичными представителями электродвигателей первой группы являются двигатели 4ДКС-8 со скобообразными магнитами и ДКС-16 с кольцевым магнитом.

Группа вторая. Во вторую группу объединяют электродвигатели с магнитной системой, изображенной на рис. 5. Так же как и в двигателях первой группы, постоянные магниты у них расположены снаружи якоря, но намагничивающая сила направлена не

вдоль магнита, а поперек. Такое же направление имеет и магнитный поток. Путь магнитного потока в магнитопроводе электродвигателя (постоянных магнитах, ярме и якоре) показан пунктирной линией со стрелками. Направление намагничения магнита обозначено буквами *N*—*S*. Вторая группа объединяет следующие электродвигатели:

Электродвигатели с радиальными магнитами (рис. 5,*а*) с магнитной системой, состоящей из двух одинаковых магнитов *1*, образующих два явновыраженных полюса; корпуса-ярма *2*, изготовленного из магнитномягкой стали и якоря *3*. Конструкциям с радиальными магнитами присуща технологичность, простота форм и дешевизна магнитов.

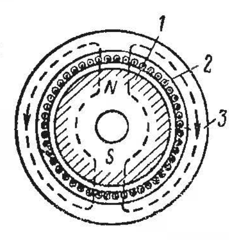


Рис. 6. Магнитная система электродвигателей третьей группы.

Электродвигатели с кольцевым магнитом (рис. 5,*б*). Они имеют магнитную систему, состоящую из кольца *1*, представляющего собой цилиндр со сквозным отверстием, без граней снаружи, корпуса-ярма *2* и якоря *3*. В этих электродвигателях намагничивается и работает только часть кольца, расположенная в зоне полюсов, а вся остальная масса магнита в создании н. с. и проведении магнитного потока не участвует, а используется исключительно в качестве несущей конструкции. Магнитный поток, как и в системе с радиальными магнитами, проходит по ярму. В отличие от электродвигателей первой группы, где кольцо магнита намагничивается целиком, а корпус не проводит магнитный поток, во всех электродвигателях второй группы корпус служит проводником магнитного потока, а кольцо намагничивается только в районе полюсов. В целом конструкции электродвигателей второй группы с кольцевым магнитом просты и благодаря низкой стоимости материала магнитов значительно дешевле электродвигателей такой же конструкции, относящихся к первой группе.

Магниты, применяемые в электродвигателях второй группы, имеют относительно высокую коэрцитивную силу H_c (до 165 *ка/м* и выше), и небольшую остаточную индукцию (до 0,37 *тл*). К таким магнитам относятся металлокерамические оксидиобариевые магниты марок 1БИ, 2БА, 3БА и МБА. Якоря такие же, как и у электродвигателей первой группы. Типичным представителем электродвигателей второй группы является двигатель ДК-17.

Группа третья. К этой группе относятся электродвигатели без стального сердечника в якоре — двигатели с полым якорем. Их магнитная система изображена на рис. 6. Магнит *1* неподвижен и расположен внутри якоря *2*, который вращается в зазоре между магнитом и ярмом *3*, выполненным из магнитомягкого материала, хорошо проводящего магнитный поток. Путь магнитного потока отмечен пунктирной линией, а направление намагничения обозначено буквами *N*—*S*.

На рис. 7 представлены детали двигателя с полым якорем. Полый якорь без стального сердечника представляет собой стакан, стенки которого образуются обмоткой, запрессованной в пластмассу. Обмотка до запрессовки в пластмассу напоминает миниатюрную цилиндрическую плетеную корзинку. Концы секции обмотки выводятся к коллектору, который укреплен на валу.

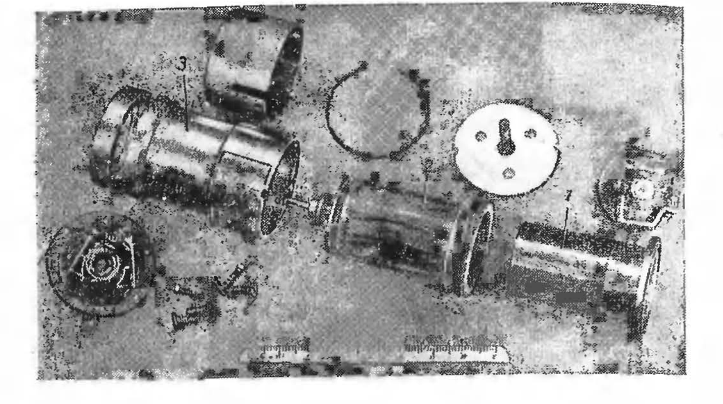


Рис. 7. Детали электродвигателя с полым якорем (третья группа).

1 — неподвижный магнит; *2* — полый якорь; *3* — корпус.

Электродвигатели с полым якорем в конструктивном отношении сложны. Магнит двигателя имеет сквозное отверстие небольшого диаметра для вала и вследствие этого нетехнологичен. Материал магнитов (чаще всего марки ЮНДК-24, ЮНДК-35Т5) имеет столбчатую структуру и относится к разряду дефицитных.

Типичным представителем электродвигателей третьей группы является двигатель ЗДПРС.

Группа четвертая. В четвертую группу входят бесконтактные (бесщеточные) электродвигатели постоянного тока, отличающиеся тем, что обмотка их якоря расположена на статоре и неподвижна, а вращается магнит возбуждения. Коммутация неподвижных секций осуществляется с помощью электронного устройства.

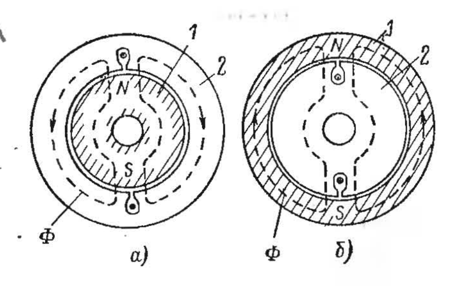


Рис. 8. Магнитные системы электродвигателей четвертой группы.

а — с внутренним магнитом; *б* — с наружным магнитом.

На рис. 8 изображены магнитные системы бесконтактных электродвигателей с внутренним магнитом *1*, вращающимся внутри неподвижного якоря *2* (рис. 8,*а*) и наружным магнитом в виде полого цилиндра *1*, вращающимся снаружи неподвижного якоря *2* (рис. 8,*б*).

Путь магнитного потока в магнитопроводе показан пунктиром. Направление намагничения магнита обозначено буквами *N*—*S*.

Конструкции самих бесконтактных электродвигателей несложны, но в совокупности с датчиками положения и коммутаторами

(см. гл. 4) они значительно сложнее конструкций остальных электродвигателей постоянного тока.

В настоящее время в магнитофонах, выпускаемых отечественной промышленностью, преобладают электродвигатели первой группы. Они имеют хорошие рабочие характеристики, экономичны, максимальное значение к. п. д. у них достигает 50—60%, но на их изготовление идут дорогостоящие, дефицитные материалы. По мере развития производства высококачественных металлокерамических магнитов электродвигатели первой группы будут вытесняться электродвигателями второй группы, которые в случае применения высококачественных магнитов не уступают им по техническим показателям и в то же время намного дешевле. Кроме того, электродвигатели второй группы имеют важное для магнитофонных машин преимущество: их внешние магнитные поля рассеяния значительно меньше, чем у электродвигателей первой группы. Еще меньше поля рассеяния у электродвигателей с полым якорем (третьей группы), обладающих самыми высокими энергетическими показателями (их к. п. д. достигает 80%). Они отличаются бесшумным равномерным ходом и хорошей коммутацией, вследствие чего износ коллектора у них минимальный. Малая маховая масса обеспечивает им хорошие регулировочные характеристики.

К недостаткам электродвигателей третьей группы можно отнести сложность конструкции и высокую стоимость. Но, несмотря на это, их применение в магнитофонах окупается за счет высоких качественных показателей.

Электродвигатели четвертой группы (бесконтактные) в отечественных бытовых магнитофонах пока не применяются. В совокупности с электронным устройством, выполняющим роль коллектора, они имеют габариты бо́льшие, чем коллекторные электродвигатели, значительно сложнее и дороже их. Однако они обладают рядом весьма ценных положительных качеств, непрерывно совершенствуются и в недалеком будущем найдут самое широкое применение в магнитофонах.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ

Отдельные детали и узлы электрических машин, такие, как валы, коллекторы, подшипники, щеткодержатели и др., имеют много общего и встречаются в большинстве электродвигателей с теми или иными видоизменениями.

Корпус (ярмо). Корпус служит для крепления магнитов возбуждения, подшипниковых щитов со щетками и других деталей. В электродвигателях второй и третьей групп корпус, кроме функций чисто механического характера, выполняет функции магнитопровода. Корпуса, проводящие магнитный поток, изготовляются из низкоуглеродистой стали или стали Э12 (армко), а в тех случаях, они не должны проводить магнитный поток, — из немагнитных материалов, таких, как легкоплавкие литейные сплавы цинка или алюминия (в электродвигателях первой группы). Для соединения с подшипниковыми щитами в корпусах делаются расточки, сцентрированные с внутренней расточкой полюсов, что обеспечивает установку подшипников и якоря точно по центру. Часто корпуса выполняют в виде моноблока (колокола) и двигатель имеет только один подшипниковый щит. Точность центровки якоря при этом возрастает. Для доступа к щеткам, коллектору и регулятору в кор-

пусах предусматриваются окна, которые закрываются съемными крышками, заслонками или просто заклеиваются липкой лентой. Конструкция корпуса тесно связана с конструкцией сочленяющихся с ним подшипниковых щитов.

Подшипниковые щиты. Основное назначение подшипниковых щитов заключается в обеспечении нормальной работы подшипников, их закреплении, центровке, защите от загрязнения, пополнении смазкой. Щиты служат для крепления щеткодержателей, торцевых скользящих контактов и других элементов. Если электродвигатель имеет регулятор, то на одном щите устанавливаются щетки коллектора, а на втором — щетки регулятора.

В середине каждого подшипникового щита имеются гнездо для размещения подшипника и устройство для сохранения запаса смазки. Способ крепления подшипника и форма гнезда зависят от материала щита, рода подшипника и других факторов. Обычно подшипник устанавливается в латунной или стальной втулке, обработанной точно по наружным размерам подшипника.

Чаще всего подшипниковые щиты изготовляются из прессматериалов типа АГ-4, пресспорошков ФКП с наполнителями, К-18-2, полистирола и других пластмасс. Реже встречаются щиты, отлитые из цинковых и алюминиевых сплавов. В наиболее дешевых образцах двигателей применяются также щиты, выдавленные из листовых материалов. Для изоляции токоведущих элементов от металлических щитов используются изоляционные прокладки и вставки из гетинакса, электрокартона и различных пластмасс.

Подшипниковые щиты закрепляются в корпусе винтами, а в неразборных конструкциях завальцовываются или ставятся на клей. В электродвигателях наиболее совершенных конструкций подшипниковый щит со щетками коллектора может поворачиваться в корпусе для точной установки щеток на нейтраль. На корпусе и щите такого электродвигателя обязательно имеется заводская метка, указывающая правильное положение щита.

Подшипники. Свойства малых электрических машин очень сильно зависят от состояния подшипников. В самых миниатюрных электродвигателях, где полезный вращающий момент на валу соизмерим с потерями на трение в опорах, подшипники играют решающую роль: они наряду с коллектором и контактами регулятора определяют срок службы, надежность и бесшумность работы электродвигателя.

В малых электрических машинах с одинаковым успехом применяются как подшипники качения, так и подшипники скольжения. Подшипники качения обладают высокой надежностью и удобны в эксплуатации, не требуют ухода в течение всего срока службы, но создают акустический шум, полностью избавиться от которого почти невозможно. Подшипники скольжения просты по устройству и работают бесшумно, однако срок службы у них меньше, чем у шарикоподшипников; они требуют периодического пополнения смазки. Наличие подшипников скольжения серьезно ограничивает возможности электродвигателя.

В качестве подшипников качения в малых машинах используются однорядные радиальные и магнетные подшипники легкой и сверхлегкой серий, способные, кроме радиальных нагрузок, воспринимать и осевую нагрузку. Чаще применяются шарикоподшипники высокого (В) и особовысокого (А) классов точности с индексом Ш (прошедшие отбор по бесшумности работы). Такие под-

шипники чрезвычайно чувствительны к механическим перегрузкам и грязи. Малейшее засорение немедленно отражается на их качестве.

От попадания грязи подшипники защищаются различными уплотнительными устройствами: сальниками, шайбами, лабиринтами. Простейший уплотнитель представляет собой шайбу, зажатую между внутренним кольцом подшипника и заплечиком вала. Шайба с небольшим зазором входит в углубление гнезда подшипника и заслоняет подшипник.

Нормальная работа подшипников высокого класса невозможна без правильной посадки на вал и в гнездо. На заводах производит-

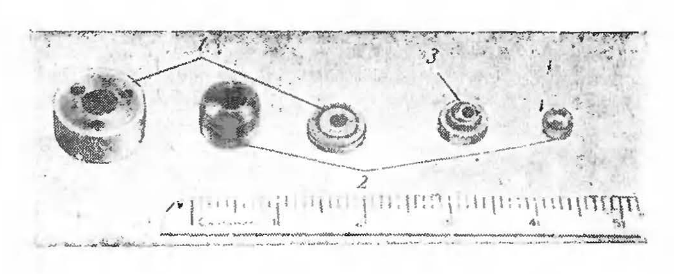


Рис. 9. Подшипники скольжения.
1 — несамоустанавливающиеся; *2* — самоустанавливающиеся; *3* — самоустанавливающийся подшипник в гнезде.

ся селективный подбор подшипников по размерам внутреннего кольца, с тем чтобы между валом и внутренним кольцом был зазор от нуля до нескольких микрон. При этом подшипник садится на вал с небольшим усилием. Наружные кольца подшипников сажаются в гнезда щитов с несколько бо́льшим зазором, но так, что радиальный люфт отсутствует. Наружные кольца обязательно имеют свободу в осевом (аксиальном) направлении, благодаря чему весь якорь может отжиматься к одной стороне специальной пружинящей шайбой, которая обычно закладывается на дно подшипникового гнезда. Под действием пружинящей шайбы устраняется произвольное перемещение якоря в аксиальном направлении и выбирается люфт шарикоподшипников. Шум от перекатывания шариков благодаря этому снижается, но полностью не исчезает.

Бесшумные электродвигатели изготовляются на подшипниках скольжения (рис. 9). Подшипники скольжения представляют собой втулки из антифрикционного материала. В электродвигателях с литым корпусом моноблочной конструкции с жесткими подшипниковыми щитами подшипники *1* наглухо запрессовываются в гнезда щитов. В электродвигателях со штампованными щитами, не имеющими точно обработанного замка, применяются так называемые самоустанавливающиеся подшипники *2*, которые представляют собой сферические втулки со сквозным отверстием для вала. Сферические подшипники помещаются в такие же сферические гнезда *3* в щитах и могут поворачиваться, как в шарнире, так, что отверстие самоустанавливающегося подшипника всегда располагается вдоль вала, компенсируя тем самым погрешности, допущенные при изготовлении деталей и сборке двигателя.

Чистота и точность обработки шеек вала, величина зазора между шейкой вала и несущей поверхностью подшипника скольжения играют очень важную роль. В бесшумных машинах шейки вала обрабатываются по классу чистоты ∇10—∇12, а зазор между валом и подшипником строго регламентируется. Обычно его величина составляет в разных машинах от 4 до 8 *мк*. Увеличение зазора сверх этой нормы приводит к появлению характерного стука и сводит на нет главное преимущество подшипников скольжения — бесшумность. Чрезмерно малая величина зазора ухудшает условия смазки и вызывает заклинивание вала.

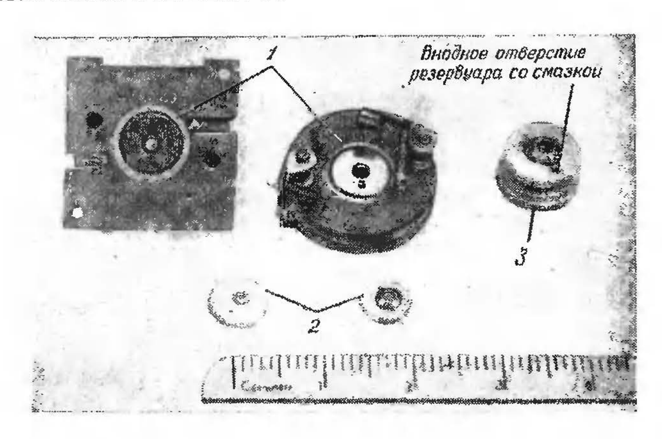


Рис. 10. Устройства для защиты от расползания смазки.
1 — втулки; *2* — шайбы; *3* — самоустанавливающийся подшипник во фторопластовой втулке.

В качестве материала для подшипников скольжения применяются самосмазывающиеся антифрикционные композиции, изготовленные методом порошковой металлургии. Это — пористые материалы, пропитываемые маслом. Их пористость достигает 25%, что позволяет запасать смазку по всей толще подшипника. До недавнего времени для подшипников скольжения повсеместно применялся антимагнитный пористый материал бронзо-графит. Он не подвержен действию магнитного поля и в двигателях с постоянными магнитами не вызывает связанных с этим осложнений. Замена его железо-графитом несколько ухудшает свойства подшипников, так как железо-графит под действием магнитных полей взаимодействует со стальным валом, вызывая повышенное трение, которое приводит к появлению характерного стука.

Наиболее частой причиной повышенного трения и стука в подшипниках скольжения являются засорение их продуктами износа щеток, загустевание и полное исчезновение смазки. Поэтому в подшипниковых щитах обязательно предусматриваются резервуары, фильцы, лабиринты с дополнительным запасом смазки (рис. 10). Интересно, что исчезновение смазки из подшипников в основном наступает не из-за естественного высыхания, а вследствие того,

что масло расползается по поверхности деталей и впитывается в пластмассу. Для борьбы с этим явлением детали, соприкасающиеся с подшипниками и резервуарами с запасом смазки, ограждаются втулками из маслостойкой пластмассы типа фторопласт-4, полиэтилена или покрываются маслоотталкивающими кремнийорганическими лаками типа ФМ-5. На вал плотно насаживаются пластмассовые маслоотбойные шайбы, которые препятствуют расползанию масла по валу и одновременно защищают подшипники от щеточной пыли.

Вал. В малых электрических машинах вал воспринимает нагрузки, во много раз превосходящие вращающий момент электродвигателя. Он противостоит одностороннему магнитному тяжению, динамическим нагрузкам от толчков и вибрации, а также выдерживает перегрузки, которые возникают в процессе изготовления и сборки электродвигателя.

Конструкция вала неразрывно связана с родом подшипников. У электродвигателей с шарикоподшипниками валы, как правило, многоступенчатые, сложной конфигурации, а у электродвигателей с подшипниками скольжения форма валов предельно упрощена — они представляют собой гладкий цилиндр. Валы для электродвигателей с шарикоподшипниками изготовляются из стали марок 3Х13, 4Х13, 3ХГСА и других высококачественных сталей. В некоторых двигателях для снижения магнитных полей рассеяния валы делаются из антимагнитных материалов: латуни ЛС59-1 и др.

Обработка шеек и заплечиков вала под посадку подшипников производится с большой точностью на специальных станках. Чистота поверхности доводится до класса чистоты ∇9, огранка и конусность не допускаются, так как шейка неправильной формы деформирует внутреннее кольцо подшипника и нарушает его нормальную работу.

Валы для электродвигателей с подшипниками скольжения изготовляются из высококачественных углеродистых и специальных сталей марок У8А, ШХ15 и др., подвергаются закалке до твердости $HRC = 60 \div 65$ и обрабатываются с чистотой поверхности до класса ∇10—∇12.

Пакет якоря. В электродвигателях первой и второй групп обмотка якоря располагается в пазах стального сердечника — пакета якоря. Сердечник, вращаясь в магнитном поле, непрерывно перемагничивается. В нем возникают потери от вихревых токов. Чтобы снизить потери, сердечник набирают из стальных листов толщиной 0,35—0,5 *мм* (рис. 11). То же самое относится к бесконтактным электродвигателям (четвертая группа), у которых обмотка располагается в пазах пакета статора.

Листы пакетов штампуются из тонколистовой электротехнической стали марок Э11, Э310, Э330 и др. Каждый лист изолируется путем покрытия тонкой пленкой изоляционного лака или химической обработкой — фосфатированием. При сборке в пакет листы склеиваются, чаще всего клеем БФ-4. Иногда пакеты собираются прямо на валу или отдельной втулке, развальцованные бортики которой удерживают листы от распушения.

Пазы для размещения обмотки в малых электрических машинах делаются полузакрытыми грушевидной формы с зубцами равного сечения или (по технологическим соображениям) круглой формы с зубцами резкопеременного сечения. Число зубцов в микро-

двигателях магнитофонов колеблется от 9 до 3 и выбирается преимущественно нечетным.

Для снижения пульсации магнитного потока из-за зубчатого строения пакета якоря листы при склейке собираются со скосом пазов по винтовой линии на 0,5—1,5 зубцового деления. В тех случаях, когда скошены края полюсов на статоре, пазы пакета якоря делаются без скоса, так как эффект сглаживания пульсаций обеспечивается скосом полюса.

Пакеты с прямыми пазами проще в изготовлении и удобнее для укладки обмотки. Их можно изготовлять методом порошковой

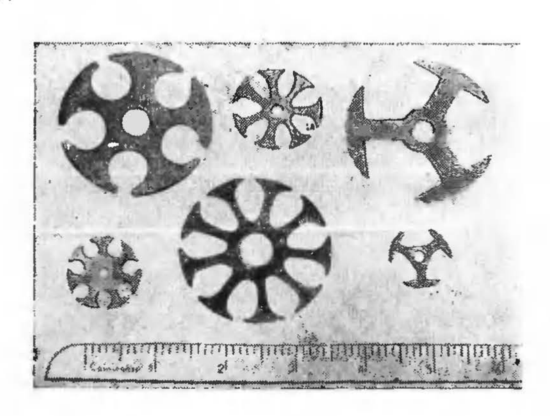


Рис. 11. Листы пакета якоря.

металлургии. По этому методу сердечник с пазами и центральным отверстием для вала целиком спекается из магнитомягкого порошка. Магнитные свойства спекаемых сердечников несколько хуже, чем у пакетов из листовой электротехнической стали. Этот недостаток компенсируется за счет некоторого увеличения размеров сердечника.

Обмотка. В электрических машинах малой мощности, применяемых в магнитофонах, число полюсов, как правило, равно 2. Это определяет вид обмотки. Все малые электродвигатели первой и второй групп, за исключением электрических машин с тремя зубцами на якоре, имеют простую петлевую обмотку. Обмотка якорей с тремя зубцами (см. рис. 12) максимально упрощена и состоит из трех катушек, намотанных на зубцы. Катушки соединяются либо в звезду, либо в треугольник, а их «вершины» припаиваются к коллекторным пластинам. Секции петлевой обмотки соединяются последовательно. Выводные концы их попарно «конец» предыдущей с «началом» последующей припаиваются к пластинам коллектора. Число пластин коллектора выбирается равным числу секций, поэтому обмотка обязательно получается замкнутой.

Секции обмотки укладываются в пазы, которые предварительно изолируются. В качестве пазовой изоляции применяются электрокартон ЭВ толщиной 0,1—0,15 *мм*, лакоткань, полиэтилентерефталатная пленка и другие изоляционные материалы. Боковые стороны

пакета изолируются листовым текстолитом или электрокартоном, вырубленными по форме листа якоря. В последнее время все шире внедряются прогрессивные методы изоляции электрических машин, такие, как изоляция методом напыления тонкого изоляционного слоя, опрессовка пакета якоря пластмассой и покрытие лаком под воздействием электростатического поля.

Для обмотки используется медный обмоточный провод круглого сечения марок ПЭВ-1, ПЭВ-2, ПЭТВ и ПЭЛ.

Намотка производится либо вручную, либо на специальных полуавтоматических и автоматических обмоточных станках. Вручную выполняются так называемые всыпные обмотки, секции которых, намотанные заранее на шаблоны, «всыпаются» затем в пазы. При машинной намотке провод укладывается машиной прямо в изолированные пазы. В пазах обмотка закрепляется клиньями или выступающей частью пазовой изоляции, края которой загибаются под усики зубцов. Обмотанные якоря подвергаются пропитке специальными пропиточными лаками и компаундами, а лобовая часть обмотки покрывается покровными лаками, придающими обмотке дополнительную влагостойкость, механическую прочность и законченный вид.



Рис. 12. Обмотки якорей.

1 — обмотка машины с тремя зубцами на якоре; *2* — уравновешенная; *3* — неуравновешенная.

В малых электрических машинах различают обмотки уравновешенные и неуравновешенные в механическом отношении (рис. 12). В уравновешенных обмотках секции укладываются «елочкой». Лобовые части обмотки получаются симметричными, а весь якорь — сбалансированным. В неуравновешенных обмотках секции наматываются последовательно одна за другой, из-за чего лобовые части обмотки сдвигаются к одной стороне и их обжимают, но якорь все равно получает дополнительную несбалансированность, которую впоследствии приходится устранять балансировкой.

Особое положение занимают обмотки двигателей с полым якорем. Якорь этих двигателей не содержит стального пакета с пазами. Секции обмотки здесь скрепляются пластмассой. Обмотка выгибается и опрессовывается в форме стакана с отогнутыми краями. Она напоминает собой плетеную, облитую прозрачной пластмассой корзинку. Боковые стенки стакана с обмоткой в собранной машине располагаются между магнитом и ярмом, образуя два воздушных зазора. Так как и без того большой двойной воздушный зазор увеличивается еще за счет толщины немагнитного стакана, секции обмотки равномерно распределяют по окружности, чтобы боковые стенки стакана были как можно тоньше. Дно ста-

кана имеет утолщение, в котором прочно запрессовывается вал. Для опрессовки обмотки применяются пластмассы на основе эпоксидных смол или материала АКР-7 (см. рис. 7 и 18).

В самых миниатюрных образцах обмотка-корзинка, чтобы не увеличивать толщину стенок, даже не заключается в пластмассу, а держится на клее, скрепляющем переплетающиеся проводники секций. Число секций в упрощенных образцах электродвигателей равно 3. В более совершенных электродвигателях оно достигает 6 и более.

Щетки и щеткодержатели. Безыскровая коммутация, бесшумная и безотказная работа щеток в двигателях для магнитофонов имеют первостепенное значение и неразрывно связаны с конструкцией щеткодержателей.

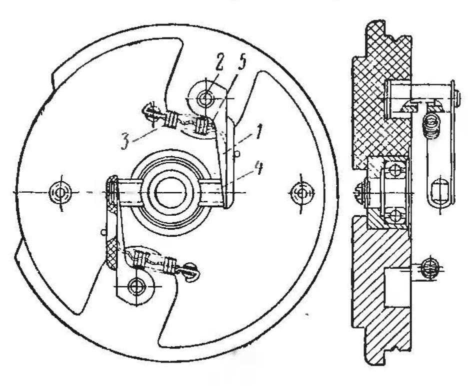


Рис. 13. Подшипниковый щит с курковыми щетками.

Широко распространенные в микромашинах щеткодержатели коробчатого и трубчатого типов не удовлетворяют повышенным требованиям и в магнитофонных электродвигателях встречаются только в устаревших конструкциях. Им свойственны такие серьезные недостатки, как трение щеток о стенки коробки, которое неопределенно и по мере работы двигателя увеличивается в результате засорения щеточной пылью. Чтобы компенсировать нестабильность трения в коробке, давление щеток приходится брать заведомо бóльшим нормы, а это увеличивает момент трения и влечет за собой повышенный износ щеток и коллектора. Статистика свидетельствует, что в электродвигателях с такими щеткодержателями часто встречаются случаи аномального искрения и полной остановки из-за «зависания» щеток. В современных магнитофонных электродвигателях применяются щеткодержатели куркового типа с цилиндрическими спиральными пружинами, действующими на растяжение (рис. 13).

Курковый щеткодержатель состоит из курка *1* с широко разнесенными точками опоры, оси *2*, на которой свободно вращается курок, и пружины *3*. Щетка *4* наглухо соединена с курком посредством пайки или склейки эпоксидной смолой. Токоотвод осуществляется через канатик *5* и частично по пружине. Пружина работает на растяжение. Трение между пружиной и щитом исключено. Трение курка на оси мало и на работу щетки практически не влияет. Таким образом, давление щетки зависит только от усилия пружины и остается стабильным, так как центр вращения курка и реакции опор в щеткодержателе выбираются с таким расчетом, что по мере износа щетки и сокращения длины пружины, когда сила ее натяжения ослабевает, плечо приложения силы увеличивается, а давление щетки остается постоянным. Из статистических дан-

ных известно, что в электродвигателях с курковыми щеткодержателями «зависания» щеток не бывает.

Курковые щеткодержатели допускают реверс, но лучше работают, если коллектор вращается в направлении от оси курка к щетке.

Курковые щеткодержатели применяются в электродвигателях с напряжением питания от 6 *в* и выше. В них устанавливаются медно-графитные щетки (марок М6 и МГС7) с относительно большим переходным сопротивлением, гарантирующим безыскровую коммутацию. Они могут работать без замены в течение нескольких тысяч часов.

В электродвигателях низкого напряжения (1—2 *в*), где на первый план выдвигается требование минимального переходного сопротивления на коллекторе, приходится поступаться безыскровой коммутацией и применять щетки с низким переходным сопротивлением. Одна из самых удачных конструкций таких щеток показана отдельно от подшипникового щита на рис. 14.

Щетка состоит из спиральной пружины *1* с двумя разведенными концами. На одном конце приварен или напрессован металлический наконечник *2*, который скользит по коллектору. В качестве материала для наконечника применяются сплавы благородных металлов, в частности на основе серебра. Щетки надеваются на штифты подшипникового щита. Свободный конец пружины вставляется в специальный паз, а сама пружина закручивается вокруг штифта так, что наконечник прижимается к коллектору с усилием примерно 5—10 *Г*.

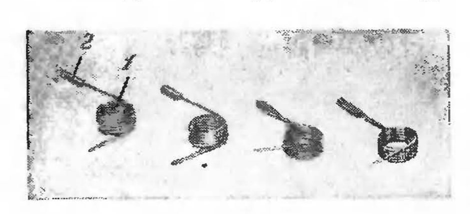


Рис. 14. Комплект металлических щеток.

Конструкция щеток примечательна тем, что щетки в ней работают попарно — по две на каждую полярность. Пара щеток одной полярности сдвинута между собой по окружности коллектора на небольшой угол так, что когда одна из щеток переходит с пластины на пластину, вторая в это время находится на пластине и имеет с нею устойчивый контакт. Надежность работы возрастает, мертвые точки исключаются, но качество коммутации от этого не становится лучшим, так как металлические щетки интенсивно искрят. Срок службы металлических щеток значительно ниже, чем медно-графитных, и они гораздо сильнее изнашивают коллектор.

В самых примитивных двигателях встречаются щетки с пластинчатыми пружинами, представляющими собой гибкую пластинку, на конце которой прикреплена щетка. Часто к кончику пластинчатой пружины ничего не крепится и функции щетки выполняет сама пружинящая пластинка. Одним концом она крепится к клемме на статоре, а другим скользит по коллектору. Иногда конец пластинчатой пружины-щетки разрезается вдоль на две полосы. Одна полоса отгибается под небольшим углом, вследствие чего получается такой же эффект перекрытия коллекторных пластин, как и в системе, где щетки действуют попарно. В качестве материала для

пластинчатых щеток используются сплавы на основе серебра с компонентами, придающими пластинам пружинящие свойства.

Работа щеток с пластинчатыми пружинами неустойчива, так как они подвержены вибрации. В целях уменьшения вибраций на поверхность пружин наклеиваются резиновые амортизаторы.

Коллектор, контактные кольца. Конструкция и качество исполнения коллектора, сохранение им правильной геометрической формы, чистота поверхности и другие показатели в значительной мере влияют на степень искрения, определяют срок службы и безотказность действия электродвигателя.

В микродвигателях применяются цилиндрические и торцевые коллекторы самых различных конструкций (рис. 15), начиная с кол-

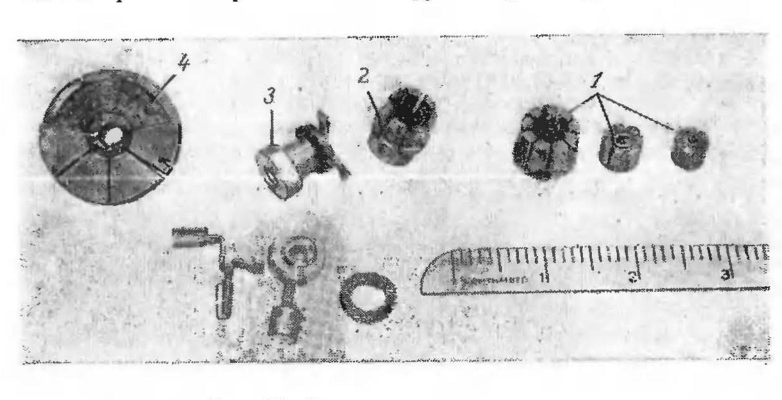


Рис. 15. Коллекторы микромашин.

1 — цилиндрический с пластинами, имеющими ласточкин хвост; *2* — пустотелый цилиндрический со сквозными шлицами; *3* — упрощенной конструкции (собранный и разобранный); *4* — торцевой (часть пластин вскрыта).

лекторов с классической формой коллекторных пластин с ласточкиными хвостами, которые запрессовываются в пластмассу, и кончая самыми простыми с пластинами в виде листов, изогнутых по диаметру коллектора, удерживаемых на валу двумя шайбами, прижимающими пластины к изоляционной втулке. Простые по конструкции и занимающие мало места торцевые коллекторы в магнитофонных двигателях применяются редко из-за большого момента трения. В сравнении с ними цилиндрические коллекторы, диаметр которых обычно не превышает 6—8 *мм,* имеют меньшие потери на трение. Число пластин коллектора выбирается равным или кратным числу пазов. Большее число пластин свойственно более высококачественным двигателям.

Промежутки между коллекторными пластинами (шлицы) делаются шириной от 0,2 до 0,3 *мм.* От ширины и состояния шлицов зависит, как долго сможет работать коллектор без профилактики. Слишком узкие шлицы быстро забиваются щеточной пылью, а широкие шлицы ухудшают условия коммутации и вызывают акустический шум. У некоторых коллекторов шлицы не продораживаются и остаются заполненными пластмассой; у других, наоборот, шлицы делают сквозными, так что продукты износа щеток могут удаляться, проваливаясь сквозь них во внутреннюю полость коллектора.

Материалом пластин служит специальная коллекторная медь с присадкой кадмия, а в низковольтных электрических машинах — сплавы на основе серебра и даже золота. В качестве основы для коллекторов применяются разнообразные термореактивные и термопластичные пластмассы.

В электродвигателях с регулятором имеется еще одна пара скользящих контактов — контакты регулятора. Они выполняются в виде изолированных колец и полуколец со щетками (рис. 16,*а*) или как торцевые скользящие контакты (рис. 16,*б*). Последние представляют собой стандартные конические контакты, вставленные

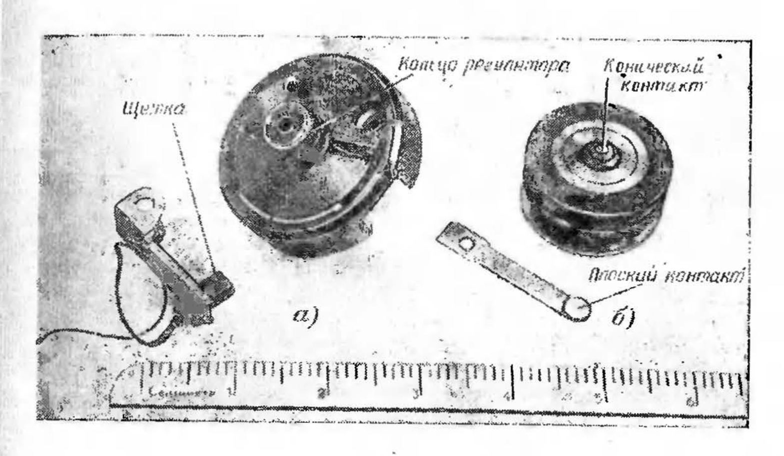


Рис. 16. Скользящие контакты.
а — кольцо—щетка; б — торцевые.

в торцы вала или корпус регулятора. Конические контакты скользят по неподвижным подпружиненным плоским контактам (рис. 16,*б*). Конические контакты изготовляют из мягкого серебра, а ответные плоские — из более жестких материалов, таких, как сплавы палладия с серебром или платины с иридием. При правильном подборе трущейся пары износ скользящих контактов очень мал и они работают безотказно в течение нескольких тысяч часов. Кольца делаются из меди, часто со специальным покрытием, например в паре со щетками марки СГ-1 хорошо работают кольца с родиевым покрытием. По сравнению с кольцами торцевые скользящие контакты имеют преимущество: они работают надежнее, особенно на малых токах, и не создают бесполезной механической нагрузки.

Торцевые скользящие контакты могут работать со смазкой и не нуждаются в защите от попадания масла. Коллектор и щетки, напротив, чрезвычайно чувствительны к маслу: малейшее попадание смазки выводит их из строя из-за засаливания шлицов. Давление скользящих контактов составляет 8—12 *Г*. Давление щеток на кольцах примерно такое же, как и на коллекторе (см. гл. 7).

Шкив. В электродвигателях магнитофонов применяются съемные, несъемные и встроенные шкивы. Съемные шкивы закрепляются

на выступающем конце вала стопорными винтами, несъемные напрессовываются на вал и могут быть сняты с него с помощью специального съемника. Встроенные шкивы находятся внутри двигателя и органически связаны с конструкцией якоря. Такие шкивы вообще не снимаются.

Профиль канавки шкива обусловливается формой поперечного сечения ремешка. У нас самое широкое распространение получили ремешки круглого сечения. Профиль шкива для таких ремешков имеет клиновидную форму со скругленным по диаметру ремешка дном. Ремешки круглого сечения сложны в изготовлении. По этой причине их часто заменяют ремешками треугольной и квадратной форм, технология изготовления которых проще. Канавка шкивов для треугольных и квадратных ремешков имеет прорезь на дне, которая делается для свободного выхода ребра с облоем и обеспечивает равномерное, без опрокидывания движение ремешка.

Лучшими по равномерности движения считаются плоские бесшовные ремешки. Шкивы для них имеют профиль бочонка. Такой профиль выбирается потому, что при случайном смещении плоского ремешка с середины шкива-бочонка возникают силы, которые возвращают ремешок на середину шкива.

Шкивы изготовляются из латуни, алюминия или пластмассы. У некоторых двигателей вместо шкива на конце вала помещаются различные насадки для передачи вращения через фрикцион.

БАЛАНСИРОВКА

Бесшумность работы, равномерность вращения и вибрация двигателя неразрывно связаны с качеством балансировки якоря. Различают два вида несбалансированности якорей: статическую и динамическую. Статический небаланс сказывается в состоянии покоя, заставляя якорь поворачиваться утяжеленной (неуравновешенной) частью вниз. Динамический небаланс проявляется и может быть обнаружен только при вращении якоря.

Для уяснения разницы между динамическим и статическим небалансом обратимся к примерам из области механики. Допустим, что имеется совершенно однородный цилиндр, который может свободно, без трения вращаться в подшипниках. Допустим еще, что форма цилиндра идеальна и ось вращения проходит точно посредине. Такой цилиндр, расположенный в горизонтальной плоскости, будет находиться в состоянии безразличного равновесия. Если к его боковой поверхности прикрепить груз, то, очевидно, состояние безразличного равновесия нарушится и цилиндр всегда будет поворачиваться грузом вниз. При вращении цилиндра с грузом на боку его подшипники будут испытывать толчки. Про такой цилиндр (якорь) говорят, что он *несбалансирован статически*.

Если к тому же цилиндру симметрично по отношению к оси к противоположным торцам прикрепить два одинаковых груза, они не нарушат равновесия. Цилиндр по-прежнему будет пребывать в состоянии безразличного равновесия, но стоит ему начать вращаться, как немедленно появится пара сил, нарушающая равномерность вращения, и его подшипники тоже будут испытывать толчки. Про такой цилиндр говорят, что он *несбалансирован динамически*. Если цилиндр несбалансирован и статически, и динамически, говорят, что он имеет *смешанный небаланс*.

Причины появления небаланса и методы его устранения тесно переплетаются с конструктивными особенностями электродвигателя. Небаланс якоря появляется в результате эксцентриситета пакета якоря, раковин в материале, несимметрии лобовых частей обмотки и других причин.

В электрических машинах небаланс устраняется добавлением балансировочных грузов или снятием части металла. С этой целью в конструкции якоря предусматриваются специальные балансировоч-

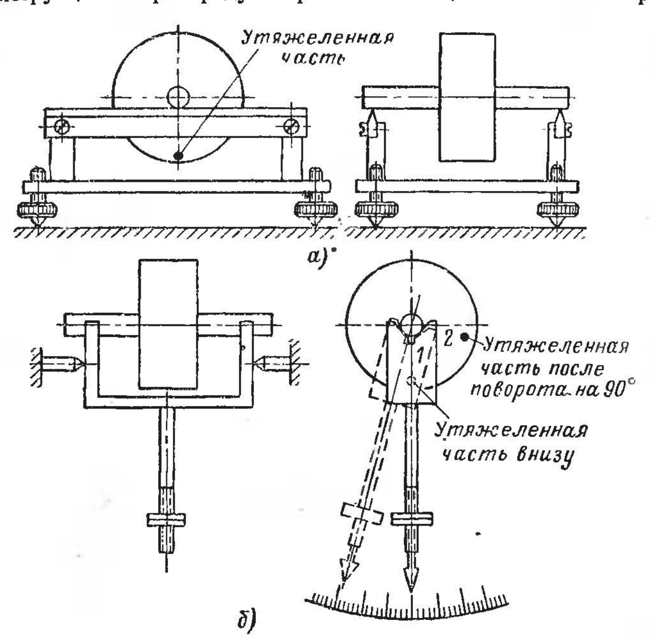


Рис. 17. Приспособления для статической балансировки.
а — горизонтальные ножи; *б* — балансировочные весы.

ные шайбы, которые во время балансировки сверлят со стороны утяжеленной части. Иногда в торцевых стенках якоря делают гнезда, в которые закладываются балансировочные грузы со стороны, противоположной утяжеленной части. Когда в конструкции машины шайбы и гнезда не предусмотрены, небаланс устраняется за счет сверления пакета якоря или размещением в пазах поверх клиньев латунных балансировочных пластинок.

Соответственно двум видам небаланса существует два вида балансировки: статическая и динамическая. Статической балансировке подвергается преимущественно «плоские» якоря, имеющие малую осевую длину по сравнению с диаметром, динамической — якоря удлиненной формы.

Статическую балансировку производят на горизонтальных ножах или специальных балансировочных весах (рис. 17). При балансировке на ножах якорь шейками вала перекатывается по лезвиям ножей,

пока утяжеленная часть не окажется внизу. Хорошо отбалансированный якорь, помещенный на горизонтальные ножи, пребывает в состоянии безразличного равновесия и при любых углах поворота не имеет стремления к перекатыванию. Процесс балансировки на ножах довольно кропотлив и требует большой аккуратности. Шейки вала должны быть отшлифованы и чистота их поверхности доведена не менее чем до седьмого класса чистоты. При балансировке на балансировочных весах якорь шейками вала укладывается в призму весов (рис. 17,*б*) и несколько раз поворачивается под разными углами. Когда утяжеленная часть окажется внизу, стрелка весов станет на нуль и определится место небаланса (точка *1*). Чтобы

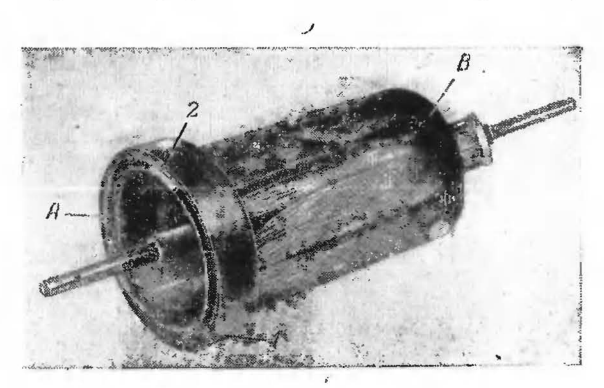


Рис. 18. Якорь с балансировочными грузами.

найти величину небаланса, якорь поворачивают на 90° (утяжеленная часть в точке *2*) и по шкале находят вес уравновешивающего груза.

Способ статической балансировки на балансировочных весах по точности и быстроте определения небаланса во много раз превосходит способ балансировки на ножах.

Динамическую балансировку производят на специальных балансировочных машинах. Балансировочная машина для динамической балансировки представляет собой комплексное устройство, оснащенное электрическими датчиками, индикаторами, электроизмерительными приборами и механизмом для вращения якоря. С помощью балансировочной машины определяются место и величина небаланса с обеих торцевых сторон якоря. Для динамической балансировки выемка материала или добавление балансировочных грузов производится в двух плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Эти плоскости называются балансировочными. Чем дальше разнесены балансировочные плоскости, тем легче балансировка.

На рис. 18 представлен якорь электродвигателя третьей группы, прошедший динамическую балансировку. Балансировочные плоскости *А* и *В* расположены по торцам цилиндра. В плоскости *А* видна кольцевая канавка *1*, в которую заложен отрезок проволоки *2* — балансировочный груз. Такая же канавка имеется с другой стороны цилиндра; в нее тоже заложен соответствующий балансировочный груз. В двигателях первой и второй групп, если в конструкции не

предусмотрены балансировочные шайбы или гнезда, динамическая балансировка производится за счет высверливании отверстий в зубцах пакета якоря или размещением балансировочных грузов в пазах у противоположных краев. Операция высверливания зубцов нежелательна, так как она приводит к замыканию стальных листов и нарушает симметрию магинтопровода.

НАМАГНИЧИВАНИЕ

Конструкция электродвигателя и способы его намагничивания органически связаны между собой. От способа намагничивания зависит насколько полно используются свойства магнита, какое получится поле в воздушном зазоре и многое другое.

Основной характеристикой постоянных магнитов служит так называемая кривая размагничивания. Эта кривая является частью петли гистерезиса магнита, расположенной во втором квадранте (рис. 19). Она показывает зависимость между магнитной индукцией и напряженностью поля в теле магнита при отсутствии внешнего поля. Граничными точками кривой размагничивания являются точки пересечения с осями координат: на оси ординат — точка B_r (остаточная индукция), на оси абсцисс—точка H_c (коэрцитивная сила). Рабочая зона постоянных магнитов находится между граничными точками в пределах кривой размагничивания. Остаточная индукция B_r и коэрцитивная сила H_c показывают, какую максимальную индукцию и напряженность поля можно получить с помощью данного магнита. Еще одна характеристика — точка B_s (индукция насыщения) расположена на вершине петли гистерезиса. Индукция насыщения B_s показывает, какие индукцию и напряженность магнитного поля H_s должно иметь намагничивающее устройство для полного намагничивания данного магнита.

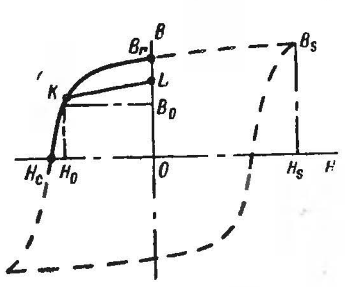


Рис. 19. Петля гистерезиса постоянного магнита (жирной линией отмечена кривая размагничивания).

Способность магнита создавать магнитное поле во внешней цепи (в воздушном зазоре электрической машины) характеризуется энергией магнита W, котораи пропорциональна произведению индукции B на напряженность магнитного поля H:

$$W = BH. \quad (11)$$

Очевидно, что в граничных точках кривой размагничивания (H_c и B_r) эта энергия будет равна нулю, а в промежуточных точках энергия будет изменяться от нуля до максимального значения в какой-то одной точке с координатами B_0, H_0. В хорошо спроектированной и правильно намагниченной электрической машине координаты рабочей точки магнита совпадают с B_0, H_0.

Если в статор двигателя, к примеру с наиболее простой магнитной системой (см. рис. 4,*а*), без зазора вставить сердечник с обмоткой (см. рис. 20) и пропустить по обмотке достаточно большой

постоянный ток, то магниты статора намагнитятся до насыщения. Их магнитное состояние будет характеризоваться точкой B_s, H_s на вершине петли гистерезиса. Если выключить ток, индукция внутри магнитов уменьшится, их магнитное состояние придет в точку B_r на оси ординат. Если теперь вынуть сердечник, то магнитная индукция снизится еще больше, так что магнитное состояние магнитов будет характеризоваться координатами какой-то промежуточной точки K, лежащей на кривой размагничивания. Если после этого мы захотим вернуть магниты в прежнее магнитное состояние и снова вставим сердечник в статор, то нам это не удастся: состояние магнита будет характеризоваться не точкой B_r, а некоторой другой точкой L, тоже лежащей на оси ординат, но ниже точки B_r. Теперь при всех последующих манипуляциях с сердечником магнитное состояние магнитов будет изменяться не по первичной кривой размагничивания, а по прямой, проходящей через точки K, L. Прямая KL называется прямой возврата. Отсюда следуют важные практические выводы:

1. В электрических машинах, намагниченных в собранном виде, энергия постоянных магнитов используется наиболее полно.

2. Машины, намагниченные в собранном виде, нельзя разбирать без ущерба для магнитного состояния магнитов. По этой причине в эксплуатации предпочтительны машины, намагниченные с вынутым якорем. Их можно разбирать и собирать, не опасаясь размагнитить.

Как упоминалось выше, постоянные магниты должны намагничиваться до состояния полного насыщения, т. е. до индукции B_s. Напряженность магнитного поля, необходимая для этого, зависит от материала магнита. Приближенно напряженность поля принимается равной пятикратной величине коэрцитивной силы H_c. При наличии шунтирующих цепей из ферромагнитных материалов (ярма, полюсных наконечников электродвигателя) магнитное поле намагничивающего устройства должно быть усилено, чтобы полностью компенсировать влияние шунтов.

Выбор способа намагничивания зависит от ряда факторов: материала магнита, его формы, конструкции машины, наличия источника питания и др.

До недавнего времени все электродвигатели намагничивались стационарными магнитами, питающимися постоянным током значительной величины. Этот способ намагничивания еще практикуется на заводах для намагничивания двигателей в собранном виде. Способ намагничивания стационарными электромагнитами очень неэкономичен, устройства для намагничивания громоздки и неудобны. На смену ему все шире приходит более изящный импульсный способ намагничивания. Для намагничивания этим способом не требуется источник напряжения большой мощности и, что самое главное, этот способ позволяет намагничивать магниты сложной конфигурации.

Суть импульсного способа намагничивания состоит в том, что по обмотке намагничивающего устройства пропускается импульс тока, который создает магнитное поле очень большой напряженности. В установках импульсного намагничивания величина тока в импульсе достигает сотен, а иногда тысяч ампер. Энергия для импульса накапливается в конденсаторах, которые заряжаются через выпрямитель от сети переменного тока. Разряд конденсаторов в установке импульсного намагничивания происходит через игнитрон. Он обеспечивает моментальное включение конденсаторов и пропускает ток одного направления.

В настоящее время электрические машины с постоянными магнитами намагничиваются как в собранном, так и разобранном виде. Разобранные машины можно намагничивать снаружи и изнутри, собранные — только снаружи.

Намагничивание снаружи чаще всего делается на стационарных электромагнитах, а изнутри — на установках импульсного намагничивания. При намагничивании стационарным электромагнитом машина помещается между башмаками, а электромагнит 2—3 раза включается под напряжение. При намагничивании на импульсной установке в статор разобранной электрической машины вставляется стальной сердечник с обмоткой, по которой пропускаются 2—3 импульса тока. Сердечник (рис. 20) имеет строго определенные размеры и конфигурацию, позволяющие получить оптимальную намагниченность машины.



Рис. 20. Сердечник с обмоткой для импульсного намагничивания.

Большинство магнитов современных электродвигателей анизотропно: их магнитные свойства зависят от направления намагничения. Намагничивать такие магниты следует в направлении, соответствующем максимумам H_c и B_r. У магнитов, по форме которых невозможно определить местоположение полюсов, как, например, у цилиндрических магнитов, направление максимума H_c и B_r отмечается меткой, которая наносится на магнит при изготовлении. Способ намагничивания выбирается в зависимости от группы электродвигателей.

Электродвигатели первой группы. а) Двигатели со скобообразными и торцевыми магнитами можно намагничивать в собранном и разобранном виде. При намагничивании в собранном виде двигатель, естественно, намагничивается снаружи и энергия магнитов используется наилучшим образом, но двигатель нельзя разбирать без ухудшения свойств магнитов. При намагничивании в разобранном виде можно пользоваться намагничиванием снаружи или изнутри. Использование магнитов в двигателях, намагниченных в разобранном виде, будет несколько хуже. б) Двигатели с кольцевыми магнитами предпочтительно намагничивать изнутри, так как при намагничивании снаружи масса кольца под одним из полюсов намагничивается навстречу рабочему магнитному потоку собранного двигателя и часть н. с. магнита расходуется бесполезно.

Все двигатели первой группы, намагниченные в разобранном виде, можно разбирать без ущерба для свойств магнитов.

Электродвигатели второй группы. а) Двигатели с радиальными магнитами можно намагничивать с одинаковым успехом любым способом. б) Двигатели с кольцевыми магнитами лучше намагничивать в разобранном виде, изнутри.

Намагничивание двигателей второй группы в разобранном виде почти не ухудшает свойства магнитов по сравнению с двигателями,

намагниченными в собранном виде, поскольку прямая возврата применяемых здесь магнитов круто поднимается вверх. Все двигатели этой группы можно разбирать без заметного ущерба для свойств магнитов.

Электродвигатели третьей и четвертой групп, как правило, намагничиваются в собранном виде стационарными электромагнитами. Полная разборка таких двигателей не рекомендуется в связи с неизбежностью частичного ухудшения магнитных свойств магнитов.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СТАБИЛИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Постоянство скорости движения звуконосителя — важнейший качественный показатель магнитофона, который в основном определяется стабильностью скорости вращения ведущего электродвигателя. Поэтому вопросам стабилизации скорости вращения двигателей магнитофонов уделяется большое внимание. В настоящее время известно немало самых разнообразных способов стабилизации скорости вращения двигателей постоянного тока. Некоторые из них получили широкое распространение в звукозаписи.

Скорость вращения электродвигателя постоянного тока зависит от нагрузки на валу, изменений напряжения источника питания и температуры, изменение которой влияет на свойства магнитов, сопротивления обмоток и переходные сопротивления щеточных контактов.

Аналитически зависимость скорости вращения от перечисленных факторов выражается формулой

$$n=\frac{U-I\Sigma R}{C\Phi}, \qquad (12)$$

где n — скорость вращения;

I — ток якоря;

ΣR — суммарное сопротивление цепи якоря, которое определяется сопротивлением обмотки, переходным сопротивлением между щетками и коллектором; сопротивлением других элементов, включенных в цепь якоря;

Φ — рабочий магнитный поток;

C — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивных особенностей двигателя и выбора единиц измерения.

Подробный анализ и вывод формулы приводятся в теоретических курсах по электрическим машинам. Анализируя формулу, нетрудно убедиться, что из пяти членов, стоящих в правой части равенства, практически только два, напряжение U и сопротивление ΣR, могут быть использованы для стабилизации скорости. В самом деле, магнитный поток Φ в двигателе с постоянными магнитами — величина неизменная, коэффициент C однозначно определяется конструкцией, а ток I зависит от нагрузки на валу и для стабилизации может быть использован только в том случае, если регулироваться будет

нагрузка двигателя, что крайне невыгодно в энергетическом отношении. Следовательно, действие разнообразных схем, сложных и простых, с транзисторами и без транзисторов, применяемых в магнитофонах для поддержания постоянства скорости вращения электродвигателей, в конечном итоге сводится либо к регулированию напряжения U, приложенного к якорю, либо к регулированию суммарного сопротивления цепи якоря ΣR за счет дополнительного элемента с переменным сопротивлением, включенным последовательно с якорем электродвигателя.

СПОСОБЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ В МАГНИТОФОНАХ

Самый простой способ стабилизации скорости вращения электродвигателя, применяющийся в миниатюрных магнитофонах, диктофонах и проигрывателях, заключается в регулировке суммарного сопротивления ΣR реостатом, включенным последовательно с якорем электродвигателя. В этом случае по мере отклонения скорости от номинальной из-за разряда батарей или изменения нагрузки вручную изменяют величину сопротивления реостата, пока не установят нужную скорость. Естественно, что при таком регулировании постоянство скорости весьма относительно. Применяется такой способ в самых примитивных аппаратах, где требования к постоянству скорости не слишком строги. Ручная регулировка неудобна, неточна и в более совершенных моделях звукозаписывающих аппаратов безусловно исключается.

Другой способ стабилизации скорости основан на поддержании постоянства напряжения, питающего электродвигатель, но он может применяться с известными ограничениями (если нагрузка на валу неизменена и общее сопротивление цепи якоря мало). При этом ток двигателя I почти не изменяется, сопротивление ΣR невелико и влиянием падения напряжения $I\Sigma R$ с некоторыми допущениями можно пренебречь. Формула (12) приобретает следующий вид:

$$n = k\frac{U}{\Phi}. \qquad (13)$$

Из выражения (13) видно, что скорость вращения при постоянном потоке Φ зависит только от напряжения и если оно стабилизировано, скорость вращения неизменна. Для повышения постоянства скорости в стабилизатор напряжения иногда вводится небольшая положительная обратная связь по току, которая в какой-то степени компенсирует влияние падения напряжения $I\Sigma R$ на уход скорости. Однако полностью исключить влияние нагрузки на валу введением обратной связи не удается.

Транзисторным стабилизатором напряжения со ступенчатым выходом можно осуществить ступенчатое регулирование скорости, что позволяет упростить кинематику лентопротяжного механизма и схему управления магнитофона. Таким способом получают стабилизацию скорости с отклонением от номинала в пределах нескольких процентов.

В тех случаях, когда по условиям работы изменяются как нагрузка на валу, так и напряжение питания и оба предыдущих способа не дают удовлетворительных результатов, для стабилизации скорости применяются мостовые схемы. Принципиальная схема моста показана на рис. 21. Последовательно с якорем включен дополнительный резистор $R_{\text{т}}$ с небольшим сопротивлением. Резистор $R_{\text{т}}$ и якорь двигателя образуют два плеча моста. Недостающие два плеча

составляются из резисторов R_1 и R_2. Если сопротивление резистора R_I подобрано так, что выполняется условие

$$\frac{R_I}{R_я} = \frac{R_1}{R_2}, \tag{14}$$

где $R_я$ — суммарное сопротивление якоря, обмоток и скользящего контакта на коллекторе, то напряжение между точками A, B—U_{AB} прямо пропорционально скорости вращения n:

$$U_{AB} = k_1 n \tag{15}$$

и не зависит от нагрузки на валу и напряжения питания электродвигателя. [Это можно показать с помощью алгебраических преобразований формулы (12)]. Сравнивая напряжение U_{AB} с каким-либо опорным напряжением, например с напряжением на стабилитроне $U_{ст}$, можно получить разностный сигнал между U_{AB} и опорным напряжением $U_{упр}$, который после усиления будет управлять проходным транзистором, включенным в цепь якоря:

$$U_{упр} = U_{AB} - U_{ст}. \tag{16}$$

Управляющее напряжение изменяет сопротивление проходного транзистора, благодаря чему изменяется U и автоматически поддерживается постоянство скорости вращения.

Одна из мостовых схем, предложенная Г. И. Эйзером для магнитофона «Мрія», изображена на рис. 22. Последовательно с якорем включены резистор R_I и проходной транзистор T_1, регулирующий напряжение в цепи якоря. Опорное напряжение снимается со стабилитрона $Д_1$. Резисторы R_1, R_2, R_3 и R_4 образуют два вторых плеча моста, причем соотношение сопротивлений плеч может изменяться потенциометром R_2. Резистор R_3*, входящий в одно из плеч моста, представляет собой катушку, намотанную медным проводом сопротивление которой подбирается так, чтобы уход скорости из-за изменения температуры окружающей среды был минимальным. Схема обеспечивает достаточно высокую точность стабилизации скорости в широком диапазоне изменений нагрузки на валу и напряжения питания (6,6÷10 *в*) при условии, что в двигателе применяются щетки с линейной зависимостью переходного сопротивления от тока, например металлические.

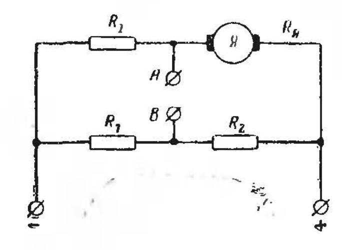


Рис. 21. Принципиальная схема моста.

Приведенные выше способы стабилизации скорости далеки от совершенства. Первые два дают очень невысокую точность поддержания постоянства скорости, а последний (с мостовой схемой) требует двигателя со щетками, имеющими низкое переходное сопротивление, что не всегда возможно в магнитофонах из-за сильных помех от искрения таких щеток. Несмотря на это, они все же находят применение из-за своей простоты, а также потому, что этими способами можно стабилизировать скорость вращения серийных электродвигателей, не имеющих регуляторов или специальных датчиков скорости.

В тех случаях, когда требуется более высокая точность стабилизации скорости, а также когда двигатель должен управляться сигналами какого-нибудь эталонного генератора, электродвигатели оснащаются специальными датчиками скорости. В качестве датчиков скорости применяются устройства, выдающие сигналы, пропорциональные скорости вращения: тахогенераторы постоянного или переменного тока, различные индукционные датчики, магнитосопротивления, датчики Холла и др.

В бытовых магнитофонах большей частью встречаются тахогенераторы переменного тока, встроенные в корпус электродвигателя или вынесенные в лентопротяжный механизм в виде маховика, связанного с валом, ведущим звуконоситель.

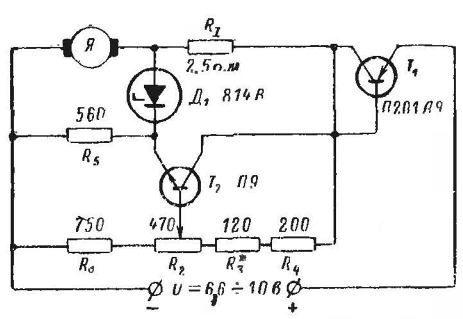


Рис. 22. Схема включения электродвигателя ДКС9-2600 (с металлическими щетками).

В электродвигателе тахогенератор переменного тока состоит из магнита, вращающегося вместе с валом, и неподвижной обмотки на статоре, в которой индуцируется э. д. с. с частотой, пропорциональной скорости вращения.

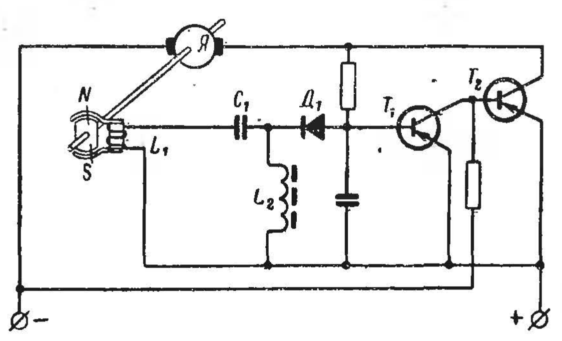


Рис. 23. Схема включения электродвигателя с тахогенератором переменного тока.

Тахогенератор-маховик состоит из магнитной головки и массивного диска, на поверхности которого размещен многополюсный магнит. Диск вращается вместе с ведущим валом магнитофона и индуцирует в головке э. д. с. с частотой, пропорциональной скорости движения звуконосителя. На рис. 23 дана схема включения электродвигателя с тахогенератором переменного тока. Магнит тахогенератора индуцирует в обмотке L_1 э. д. с., частота которой пропорциональна скорости вращения. С обмотки L_1 э. д. с. подается на фильтр верхних частот, состоящий из C_1, L_2 и настроенный так, что при

номинальной скорости вращения рабочая точка находится на наиболее крутой части его частотной характеристики. На базе транзистора T_1 возникает напряжение, прямо пропорциональное скорости вращения. Это напряжение управляет транзистором T_1, а он в свою очередь воздействует на транзистор T_2, заставляя его изменять сопротивление между эмиттером и коллектором. Транзистор T_2 находится в цепи якоря и стабилизирует скорость двигателя за счет изменения суммарного сопротивления ΣR.

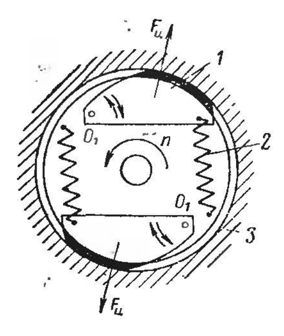


Рис. 24. Механический центробежный регулятор.

Транзисторные схемы для стабилизации скорости вращения электродвигателей, оснащенных датчиками, разнообразны и относительно сложны. Постоянство скорости, которое они обеспечивают в магнитофонах, с учетом изменения температуры окружающей среды, лежит в пределах ±1%. В настоящее время применяются более перспективные схемы управления бесконтактными электродвигателями, где задача стабилизации скорости решается в комплексе с коммутацией обмоток меньшим числом транзисторов.

В подавляющем большинстве портативных магнитофонов, диктофонов и проигрывателей, выпускаемых отечественной промышленностью, применяются электродвигатели с центробежным контактным регулятором скорости вращения. Способ стабилизации скорости с помощью центробежного регулятора — один из старейших и применялся задолго до появления транзисторов. С развитием полупроводниковой техники он не только не утратил своего значения, а напротив, еще более укрепил свои позиции благодаря использованию транзисторов для защиты контактов. Вследствие своей простоты и достаточно высокой надежности в бытовых магнитофонах он успешно конкурирует с другими способами стабилизации скорости.

Центробежный регулятор в зависимости от предъявляемых требований позволяет получить постоянство скорости вращения в пределах ±(1÷2)% при больших перепадах нагрузок, напряжений и температур окружающей среды. Возможности регулятора этим не исчерпываются: известны центробежные регуляторы, поддерживающие скорость вращения с точностью ±0,2%.

Главным недостатком контактных центробежных регуляторов было и остается на сегодняшний день наличие разрывных контактов. В свете этого стоит упомянуть о стабилизации скорости с помощью механического центробежного регулятора.

Механический регулятор (рис. 24) по существу представляет собой тормоз, действующий на валу двигателя. Он имеет два подвижных груза с тормозными колодками *1* и возвратными пружинами *2*, которые закреплены на валу и вращаются вместе с ним. Грузы с колодками, поворачиваясь под действием центробежных сил вокруг осей O_1, могут раздвигаться до соприкосновения с тормозным барабаном *3*, расположенным на статоре.

При достижении определенной скорости центробежные силы преодолевают сопротивление возвратных пружин, тормозные колодки приходят в соприкосновение с неподвижным барабаном и проис-

ходит торможение. Чем выше скорость, тем сильнее становится давление колодок и эффективнее торможение. Снижение скорости приводит к ослаблению давления и эффективности торможения, а скорость вращения благодаря этому удерживается вблизи номинальной. Точность стабилизации скорости вращения механическим центробежным регулятором не превышает $\pm(3\div5)\%$ номинальной.

Механические регуляторы применяются редко вследствие крайне низкого к. п. д. Электродвигатель с таким регулятором-тормозом постоянно работает на полную мощность, ибо даже на холостом ходу колодки регулятора нагружают вал двигателя моментом, превосходящим номинальный момент нагрузки. Регулирование скорости вращения изменением нагрузки на валу связано с ростом рабочего тока I, что очень невыгодно и усугубляется тем, что двигатель должен иметь достаточно большое сопротивление цепи якоря, иначе влияние падения напряжения $I\Sigma R$ будет невелико и получить стабилизацию скорости за счет тока при сколько-нибудь заметном перепаде нагрузок и напряжений не удается.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КОНТАКТНЫЙ РЕГУЛЯТОР. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Центробежный контактный регулятор скорости вращения представляет собой устройство с разрывными электрическими контактами. Регулятор располагается на валу электродвигателя. Его контакты включаются последовательно с якорем электродвигателя и служат для автоматического отключения и подключения обмотки к источнику питания. Центробежный регулятор (рис. 25) состоит из платы *1*, подвижного груза *2* с плоским контактом *3*, пластинчатой возвратной пружины *4* и регулировочного винта *5* с коническим контактом *6*. Плоский контакт связан с грузом и под действием центробежных сил может перемещаться, размыкая цепь. Конический контакт связан с регулировочным винтом и по отношению к плате неподвижен.

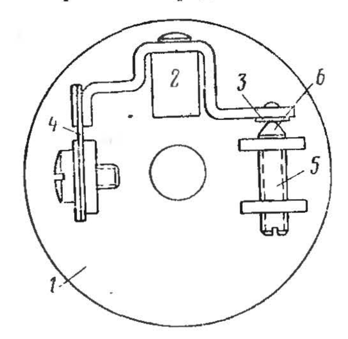


Рис. 25. Центробежный контактный регулятор скорости вращения.

Работа регулятора основана на взаимодействии центробежных сил и силы противодействия возвратной пружины. Центробежные силы во время разгона непрерывно растут, а сила противодействия возвратной пружины остается неизменной. При достижении определенной скорости наступает взаимное равновесие: действие силы от возвратной пружины, прижимающей контакты друг к другу, компенсируется центробежными силами. Давление между контактами стремится к нулю. Достаточно малейшего увеличения скорости, чтобы контакты разомкнулись, и, наоборот, если контакты были разомкнуты, малейшее снижение скорости приводит к их замыканию. Во время работы подвижный контакт регулятора непрерывно вибрирует, то размыкая, то замыкая цепь обмотки. При этом скорость враще-

ния якоря совершает колебания между максимальным и минимальным значениямн вблизи какого-то среднего значення, которое называется средней скоростью вращення. Кривая изменения скорости якоря электродвигателя во время работы в искаженном для наглядности масштабе изображена на рис. 26, где совмещены графики скорости вращения n и напряжения на якоре U в функции времени. Кривая изменения скорости иллюстрирует стабилизацию скорости вблизи среднего значения $n_{стаб}$, которая получается при постоянном напряжении питания и постоянной нагрузке на валу, равной M_1. Стабилизация происходит следующим образом: в момент включения на якорь попадает полное напряжение источника питания, и двигатель, обладающий достаточным запасом мощности, разгоняется до скорости n_1 (точка *1*). По достижении скорости n_1 контакты регулятора размыкаются, а двигатель продолжает вращаться по инерции, постепенно теряя скорость. Когда его скорость снизится до n_2 (точка *2*), произойдет замыкание контактов и двигатель вновь начнет разгоняться, пока не достигнет скорости n_1; затем все повторится в том же порядке. Размыкание и замыкание следуют одно за другим. Отношение времени, в течение которого контакты замкнуты $t_з$ ко времени, когда они разомкнуты $t_р$, определяет количество подводимой к якорю энергии. Чем больше времени контакты замкнуты, тем больше энергии успеет поступить в якорь двигателя, тем больше, при той же скорости вращения, мощность, развиваемая двигателем на валу.

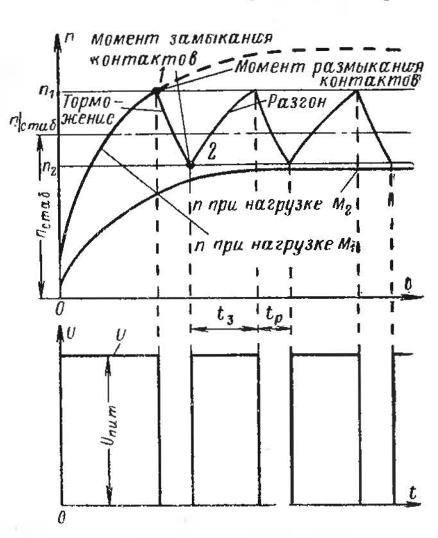


Рис. 26. Изменение скорости и напряжения при работе центробежного регулятора.

Если увеличить нагрузку на валу до какого-то момента $M>M_1$, крутизна нарастания скорости уменьшится, время разгона возрастет, а время торможения станет меньше; соответственно изменится соотношение времен «замыкания» и «размыкания». К двигателю будет подводиться больше энергии. Если продолжать увеличение нагрузки до момента M_2, крутизна нарастания станет еще меньше, а скорость не сможет уже подняться выше n_2, контакты регулятора перестанут размыкаться и стабилизация скорости прекратится — электродвигатель выйдет на свою естественную характеристику.

Режим выхода на естественную характеристику является первым предельным режимом работы двигателя с регулятором, поэтому естественные характеристики электродвигателя $n=f(M, U)$ выбираются с запасом по скорости так, чтобы при максимальной рабочей нагрузке и минимальном напряжении собственная скорость двигате-

ля (без регулятора) всегда оставалась выше скорости n_2, при которой еще не перестают срабатывать контакты.

Вторым предельным режимом является режим минимальной нагрузки при максимальном напряжении, когда возрастание скорости начинает происходить настолько бурно, что размах колебаний в период между замыканием и размыканием контактов достигает недопустимой величины: работа регулятора становится неустойчивой, якорь двигателя вращается рывками. Если в цепь двигателя, работающего в таком режиме, включить миллиамперметр, его стрелка зафиксирует «броски» потребляемого тока. Такой характер работы определяется влиянием сил, которые возникают в регуляторе в результате неравномерности вращения, — тангенциальными силами. Тангенциальные силы вступают во взаимодействие с центробежной силой и силой противодействия возвратной пружины, оказывая очень большое влияние на всю работу регулятора. Тангенциальные силы направлены по касательной к траектории движения груза в сторону, противоположную ускорению (замедлению): во время разгона тангенциальная сила направлена против направления вращения, а при замедлении — по вращению.

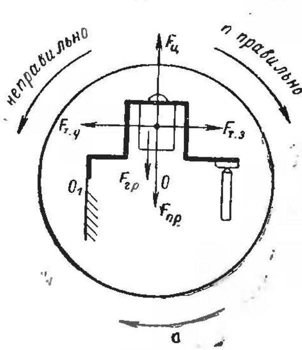


Рис. 27. Силы, действующие в регуляторе.

Силы, действующие на подвижный груз регулятора при неравномерном вращении, изображены на рис. 27. Во время разгона действуют силы: $F_ц$ — центробежная сила, $F_{пр}$ — сила от возвратной пружины и $F_{т.у}$ — тангенциальная сила при ускорении. Во время торможения действуют $F_ц$, $F_{пр}$, $F_{т.з}$ — тангенциальная сила при замедлении.

Силы изображены векторами, приложенными к центру груза. При соответствующем пересчете такое допущение вполне закономерно. Сила от действия возвратной пружины $F_{пр}$ при любых условиях постоянна по величине и направлению; она всегда стремится прижать контакты друг к другу. Величина силы от возвратной пружины $F_{пр}$ пропорциональна прогибу пружины l:

$$F_{пр}=kl, \tag{17}$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Центробежная сила $F_ц$ действует на массу груза, контактов и других деталей. Она направлена от центра к периферии. Вектор равнодействующей центробежной силы проходит через ось вращения (точка О). Центробежная сила всегда стремится развести контакты. Величина центробежной силы $F_ц$ зависит от скорости вращения ω, массы груза m, расстояния от оси вращения r и не зависит от направления вращения:

$$F_ц=r\omega^2 m. \tag{18}$$

Если бы якорь вращался почти равномерно с очень небольшими ускорениями, момент отрыва контактов целиком зависел бы от взаимодействия только двух сил: $F_ц$ и $F_{пр}$. В действительности же якорь вращается не равномерно, а так, как показано на рис. 26: то

с ускорением, то с замедлением. В результате неизбежно возникают тангенциальные силы $F_{т.з}$ и $F_{т.у}$, пренебречь которыми никак нельзя, ибо они нарушают равновесие сил $F_{пр}$ и $F_{ц}$ и сильно влияют на время размыкания и замыкания контактов.

Величина тангенциальной силы $F_{т}$ определяется массой груза m и угловым ускорением ε:

$$F_{т}=m\varepsilon. \tag{19}$$

От знака ускорения $\pm\varepsilon$ зависит направление вектора $F_{т}$: в сторону $F_{т.у}$ или в сторону $F_{т.з}$.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА

Направление вращения. В отличие от центробежной силы и силы противодействия возвратной пружины тангенциальная сила меняет свое направление и может улучшить или ухудшить работу регулятора в зависимости от направления вращения. Например, при вращении регулятора (рис. 27) по часовой стрелке она оказывает полезное действие, так как во время разгона, когда требуется разомкнуть контакты $F_{т.у}$ действует согласно с центробежной силой $F_{ц}$ и способствует размыканию контактов, а при торможении, когда требуется замкнуть контакты, $F_{т.з}$ действует согласно с силой от возвратной пружины $F_{пр}$ и способствует замыканию контактов, т. е. повышают быстродействие контактов. Однако в том же регуляторе при вращении в обратную сторону (против часовой стрелки) направление тангенциальных сил будет таково, что они будут препятствовать размыканию контактов при разгоне и задерживать контакты замкнутыми во время торможения, т. е. снижать быстродействие контактов. Регулятор будет работать хуже. Коммутация контактов станет менее четкой.

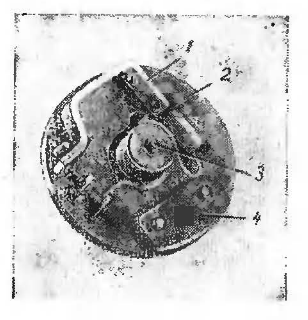


Рис. 28. Центробежный контактный регулятор левого вращения.

Полезное действие тангенциальных сил принимается во внимание при проектировании регуляторов. Для нереверсивных электродвигателей регуляторы делаются с таким расположением подвижного груза относительно его оси вращения O_1 (рис. 27), что действие тангенциальных схем выражается особенно ярко. Такие регуляторы дают повышенную точность стабилизации в «правильном» направлении вращения, но при вращении в противоположную сторону работают менее устойчиво, с ухудшением точности стабилизации.

На рис. 28 представлен типичный нереверсивный регулятор левого вращения. Масса подвижного груза *1* у него отнесена к краю платы, а точка крепления пластинчатой пружины на кронштейне *2* сдвинута к центру. В центре виден торцевой скользящий контакт *3*, ниже — противовес *4*. Направление вращения двигателя с таким регулятором должно соответствовать тому, на которое он рассчитан.

Правильное направление вращения электродвигателя с регулятором определяется простым правилом: подвижная система регуля-

тора с грузом и контактом должна вращаться в направлении от контакта к месту закрепления пластинчатой пружины или в более общем виде к оси вращения груза относительно платы. Правило поясняется рис. 27.

Для стабилизации скорости в обоих направлениях применяются регуляторы со слабо выраженным действием тангенциальных сил. Тогда в наиболее ответственном режиме работы выбирается правильное направление, а при вращении в противоположную сторону сознательно идут на ухудшение свойств. Реже применяют чисто реверсивные регуляторы, у которых влияние тангенциальных сил полностью исключено. Якорь двигателя с таким регулятором показан на рис. 29. Регулятор состоит из двух симметрично расположенных цилиндрических грузов *1*, двух возвратных спиральных пружин *2* и плоских контактов *3*. Контакты могут замыкать и размыкать медные токоведущие шины *4*, связанные с обмоткой якоря. Во время работы подвижные грузы скользят вдоль направляющих шпилек *5*, так что тангенциальные силы, направленные по касательной к траектории движения груза лишь прижимают грузы к шпилькам и не влияют на момент отрыва контактов. По точности стабилизации реверсивные регуляторы несколько уступают нереверсивным.

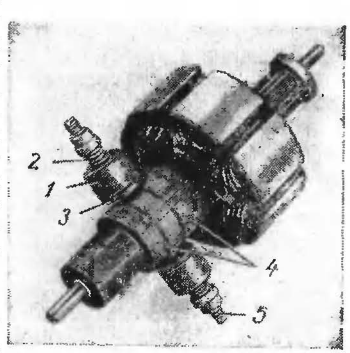


Рис. 29. Реверсивный центробежный регулятор.

Гравитационные силы. Внимательно наблюдая за работой электродвигателя с регулятором в разных положениях, нетрудно обнаружить, что скорость вращения изменяется в зависимости от ориентации вала. Это явление объясняется действием гравитационных сил. При рассмотрении сил, действующих в регуляторах, мы сознательно не упомянули о силе притяжения земли $F_{гр}$, которая тоже действует на подвижной груз регулятора.

На рис. 27 сила земного тяготения постоянно направлена вниз и взаимодействует с центробежными силами, векторы которых вращаются в плоскости регулятора. В течение каждого оборота направление векторов центробежных сил то совпадает с вектором силы земного тяготения и они действуют согласно, то направлены навстречу и они «вычитаются». Такое сочетание сил может вызвать ложное срабатывание контактов (замыкание или размыкание) в то мгновение, когда по условиям стабилизации скорости коммутация не требуется. Наиболее сильно земное тяготение сказывается при горизонтальном положении вала, когда вектор силы земного тяготения находится в одной плоскости с векторами центробежных сил.

Погрешность в стабилизации скорости, обусловленная земным тяготением, зависит от соотношения величины центробежных сил и веса подвижного груза. Чем больше центробежные силы по сравнению с весом, тем слабее влияние земного тяготения. Чтобы снизить погрешность от действия гравитационных сил, долю центробежных сил в общем балансе сил всегда стремятся увеличить. Относительное

увеличение центробежных сил получают, размещая грузы как можно дальше от оси вращения якоря электродвигателя, а также увеличением номинальной скорости вращения.

Вибрация. Центробежный регулятор иногда называют вибрационным. Это в какой-то степени отражает характер его работы, так как груз с контактом и возвратная пружина составляют колебательную систему, которая вибрирует, совершая вынужденные колебания. Частота вынужденных колебаний значительно ниже частоты собственных колебаний системы, но в принципе от внешней вибрации могут возникнуть колебания с резонансной (собственной) частотой, которые ухудшают точность стабилизации скорости.

Внешняя вибрация очень опасна для электродвигателей с небольшой скоростью вращения (2 000—3 000 *об/мин*): у них ложная коммутация может возникнуть и от вибрации с частотой, лежащей много ниже резонансной. Собственная вибрация якоря от несбалансированности также опасна и оказывает такое же влияние, как и вибрация от посторонних сил.

Параметры схем. В большинстве магнитофонов электродвигатели включаются через транзисторные схемы, параметры которых влияют на точность стабилизации скорости, вызывая в отдельных случаях ухудшение и даже полное нарушение стабилизации скорости (см. стр. 50).

Момент инерции привода. Быстродействие регулятора, частота и четкость срабатывания контактов в значительной степени определяются ускорением (замедлением), которое испытывает регулятор, вращаясь вместе с якорем. Величина ускорения зависит от инерции якоря, редуктора, маховика и других элементов привода, жестко связанных с валом двигателя.

Инерция якоря и элементов привода характеризуется моментом инерции J. Момент инерции определяется расчетным путем по формулам, приведенным ниже.

Для сплошного цилиндра

$$J = \frac{1}{8} \cdot \frac{GD^2}{g} \approx 1,3GD^2 \cdot 10^{-4}. \qquad (20)$$

где J — момент инерции, *Г·см·сек*²;
G — вес, *Г*;
$g = 981$ *см/сек*² — величина земного ускорения;
D — диаметр цилиндра, *см*.

Для полого цилиндра

$$J = \frac{1}{8} \cdot \frac{G(D^2 + d^2)}{g} \approx 1,3(D^2 + d^2)\, d^{-4}, \qquad (21)$$

где D — наружный диаметр цилиндра, *см*;
d — внутренний диаметр, *см*.

Если инерционная масса жестко связана с валом двигателя через редуктор, влияние ее эквивалентно влиянию маховика с моментом инерции $J_{прив}$.

Приведенный момент инерции $J_{прив}$ рассчитывается по формуле

$$J_{прив} = \frac{J}{k^2}; \qquad (22)$$

$$k = \frac{n_{дв}}{n_{max}}, \qquad (23)$$

где $J_{прив}$ — приведенный момент инерции;
J — момент инерции инерционной массы;
$n_{дв}$ — скорость вращения вала двигателя;
n_{max} — скорость вращения инерционной массы.

Чем больше приведенный момент инерции масс, жестко связанных с валом, тем хуже условия работы регулятора. Для каждого типа двигателя существует определенный приведенный момент инерции, превышение которого ведет к полному нарушению стабилизации скорости. Учитывая это, электродвигатели с центробежным регулятором никогда не связывают с механизмом жестко. Привод осуществляется через развязку: эластичный бесконечный ремешок, пружинный пассик, обрезнненный диск, пружину и т. п. Такая развязка уменьшает влияние инерции механизма и одновременно защищает механизм от неизбежных толчков скорости, создаваемых неравномерным вращением якоря двигателя.

РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ И ИХ ВКЛЮЧЕНИЕ

Все рассматриваемые здесь регуляторы работают в электродвигателях с возбуждением от постоянных магнитов, что накладывает свой отпечаток на конструкцию и способы их включения.

По конструкции подавляющее большинство регуляторов магнитофонных электродвигателей относится к так называемым плоским регуляторам, у которых подвижные грузы перемещаются в плоскости, перпендикулярной оси вращения.

По способам включения регуляторы делятся на регуляторы прямого включения в цепь якоря и регуляторы, действующие в управляющих цепях транзисторных схем. Соответственно контакты различаются по размерам, форме и материалу.

Контакты регуляторов прямого включения изготовляются из вольфрама, серебра, сплавов золота, платины, палладия. Встречаются комбинированные контактные пары, составленные из разнородных материалов, таких, как вольфрам и платино-иридий. Это относительно крупные контакты, рассчитанные на работу в неблагоприятных условиях — в цепях с индуктивной нагрузкой. По форме контактные пары прямого включения составляются из контактов с плоской и сферической головками, двумя сферическими или плоской и конической головками.

Контакты регуляторов, предназначенные для слабых токов, изготовляются из золота, сплавов золота с никелем, медью и другими компонентами. Контакты для слабых токов выбираются минимальных размеров. Здесь важны не столько размеры, сколько форма контактирующих поверхностей. Контактные пары для слабых токов обычно составляются из контактов с плоской и конической головками. Последние исследования, однако, показали, что эта форма неоптимальна. Значительно лучше в цепях со слабыми токами работают контакты, изготовленные из отрезков проволоки толщиной 0,1—0,3 *мм*, которые располагаются взаимноперпендикулярно в параллельных плоскостях так, что касание и контактирование отрезков осуществляется боковыми поверхностями.

Регуляторы прямого включения очень похожи на регуляторы, предназначенные для работы с транзисторными схемами, и, если не принимать во внимание различия в контактах, почти ничем не

отличаются. Регуляторы прямого включения могут работать с транзисторными схемами, а регуляторы, рассчитанные на слабые токи, кратковременно выдерживают нагрузку током якоря. Хотя следует иметь в виду, что даже однократное включение регуляторов, рассчитанных на работу с транзисторной схемой, без защиты может привести к повреждению контактов и пагубно отразиться на всей дальнейшей работе регулятора. Регуляторы с контактами для прямого включения не повреждаются от работы в управляющих цепях транзисторных схем, но в большинстве случаев действуют в таких схемах неустойчиво. Время от времени их приходится чистить и удалять образующиеся на поверхности контактов непроводящие пленки.

По направлению вращения регулятора подразделяются на нереверсивные (правого и левого вращения) и реверсивные. Реверсивные работают одинаково при любом направлении вращения; нереверсивные избирательны к направлению вращения и лучше работают в направлении, на которое они спроектированы.

Поскольку регулятор с контактами находится на валу и вращается вместе с якорем, а включить его нужно последовательно со щетками коллектора или на вход транзисторной схемы, контакты регулятора соединяются с электрически изолированными от вала контактными кольцами и посредством специальных щеток выводятся на статор (рис. 30,*а*). Регулятор с кольцами можно включать последовательно с якорем, соединять с транзисторной схемой, шунтировать резистором, замыкать накоротко и т. д. Контактные кольца в микродвигателях работают крайне ненадежно, поэтому взамен их применяют торцевые скользящие контакты. Они выполняют те же функции, но отличаются более высокой надежностью.

Иногда вместо пары контактных колец, расположенных вдоль вала, применяются изолированные друг от друга полукольца (рис. 30,*б*), занимающие по длине вала меньше места, но еще менее надежные. Края полуколец подвержены обгоранию, промежутки между ними забиваются щеточной пылью. Кроме того, существенным недостатком полуколец является то, что 2 раза за оборот они замыкаются щетками, а это равносильно замыканию контактов и может наступать в тот момент, когда по условиям регулирования контакты регулятора должны быть разомкнуты. Периодическое замыкание полуколец служит причиной появления электромагнитных помех.

Включение контактов регулятора через контактные кольца и щетки или различные их модификации (полукольца, торцевые скользящие контакты) не единственно возможный способ соединения регулятора с якорем двигателя. Широко распространен способ введения контактов регулятора непосредственно в разрыв обмотки якоря (рис. 31). Преимущество способа в его простоте: нет скользящих контактов, которые снижают надежность и ухудшают к. п. д., а недостаток в том, что отсутствует возможность оперативного управления: контакты регулятора нельзя закоротить, или подключить к транзисторной схеме. Двигатель с таким регулятором может работать только в одном режиме — со стабилизацией скорости. Его контакты всегда рассчитываются на прямое включение, хотя ток ветвей обмотки, в разрыв которых врезаны контакты, вдвое меньше рабочего, а его направление меняется за каждый оборот, что благоприятно отражается на работе контактов. То же самое можно сказать о токе, протекающем через контакты регуляторов с полу-

кольцами, с той лишь разницей, что по ним течет полный рабочий ток. Размещение контактов регулятора в разрыве обмотки якоря выгодно еще и по той причине, что по обе стороны искрящих контактов лежат ветви обмотки якоря, которые действуют как дроссель, снижая помехи от искрения.

На рис. 31,*б* изображена еще одна схема включения регулятора с контактами в разрыве обмотки якоря, которая применяется в дви-

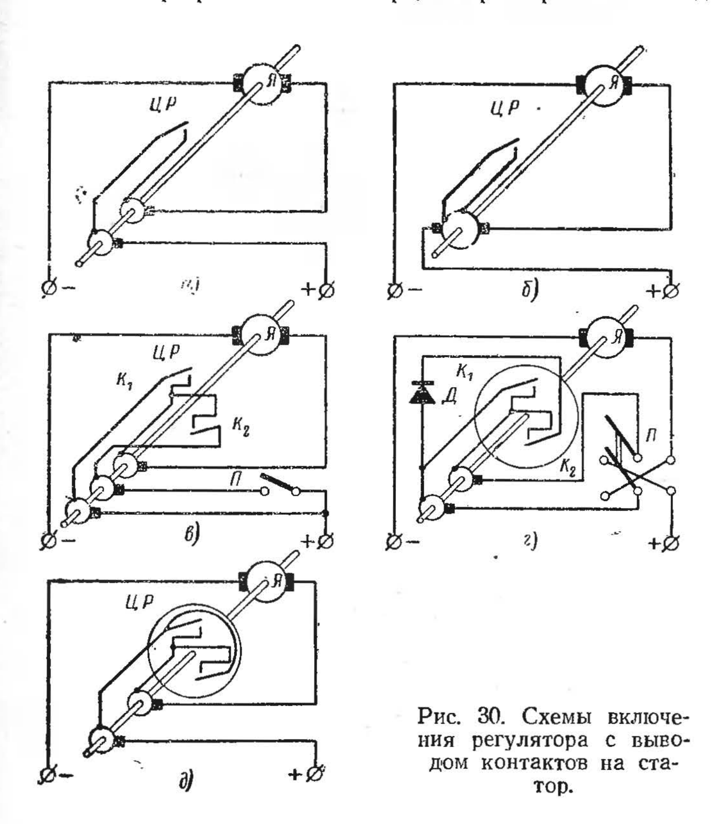


Рис. 30. Схемы включения регулятора с выводом контактов на статор.

гателях с тремя секциями. В этих двигателях начала секций соединяются с коллекторными пластинами, а концы — с контактами регулятора.

В схемах на рис. 30,*а* и *б* показаны регуляторы с одной парой разрывных контактов, а в схемах на рис. 30,*в*, *г*, *д* и 31 — регуляторы с двумя парами контактов. Выбор количества контактных пар обусловливается разными причинами. В одном случае это причины принципиального характера (наличие нескольких пар контактов необходимо по условиям работы), в другом — применение нескольких контактных пар вызвано желанием повысить надежность регулятора. Например, чтобы прервать ток якоря регулятором с кольцами, достаточно одной контактной пары, а чтобы полностью

прервать ток регулятором с контактами, врезанными в обмотку якоря, требуются минимум два разрыва и две пары контактов.

В регуляторах, где две пары контактов включены параллельно в целях повышения надежности, они просто дублируют друг друга. Такие регуляторы могут свободно работать с одной парой контактов, а в регуляторах, где две пары контактов необходимы для получения полного разрыва цепи, выход из строя одной пары приводит к нарушению нормальной работы двигателя.

Наличие в регуляторе нескольких контактных пар позволяет получить многоступенчатую стабилизацию скорости. На рис. 30,*в* приведена схема двухскоростного регулятора с двумя контактными парами и тремя кольцами, одно или два из которых в целях повышения надежности часто заменяются торцевыми скользящими контактами. Контактная пара K_1 через кольцо и щетку постоянно соединена с источником питания, а контактная пара K_2 с помощью переключателя *П* может отключаться или подключаться, и тогда обе пары контактов оказываются включенными параллельно. Контактная пара K_1 настраивается так, что она срабатывает при достижении скорости n_1, а пружина контактной пары K_2 затянута сильнее, так что она срабатывает при скорости $n_2>n_1$. При разомкнутом переключателе *П* контактная пара K_2 в работе регулятора не участвует, она отключена, и скорость двигателя устанавливается равной n_1. При замыкании переключателя *П* в работу вступают обе пары контактов, но контакты K_1 по достижении скорости n_1 размыкаются, а двигатель продолжает разгон дальше, пока не сработают контакты K_2 и скорость двигателя не стабилизируется на уровне n_2.

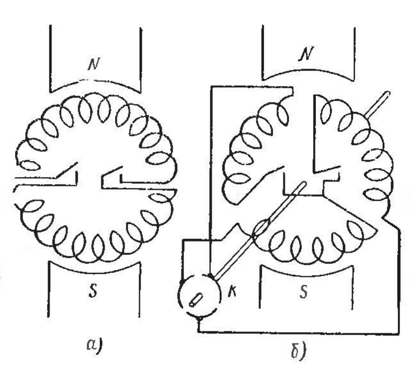


Рис. 31. Схемы включения регулятора без вывода контактов на статор.

Переход с одной скорости на другую осуществляется однополюсным переключателем, что создает определенные удобства и позволяет оперативно управлять скоростью электродвигателя. Однако такое включение регулятора связано с введением скользящих контактов на кольцах, которые снижают надежность, особенно если имеется три кольца и по конструктивным соображениям их нельзя заменить торцевыми скользящими контактами. В этой связи интересен способ получения двухступенчатой стабилизации скорости регулятором, снабженным двумя торцевыми скользящими контактами (см. рис. 30,*г*). Чтобы избавиться от дополнительного контактного кольца, на плате регулятора укрепляется диод *Д*, который вращается вместе с якорем. Он включается последовательно с контактной парой K_2, а контактная пара K_1 остается подключенной прямо к кольцам. Пружина контактной пары K_1 натянута слабее, ее контакты срабатывают при скорости n_1, а пружина пары K_2 затянута сильнее, ее контакты срабатывают при ско-

рости $n_2>n_1$. Когда переключатель *П* перекинут влево, диод оказывается в непроводящем состоянии. Контактная пара K_2 не работает, и скорость двигателя стабилизируется на уровне n_1. Когда переключатель перекинут в правое положение и диод оказывается в проводящем состоянии, в работу вступают обе пары контактов, но по достижении скорости n_1 контакты K_1 размыкаются, а двигатель продолжит разгон до скорости n_2, пока не начнут срабатывать контакты K_2 и скорость не стабилизируется на уровне n_2.

Двухступенчатая стабилизация скорости посредством центробежного регулятора с двумя контактными парами имеет смысл при относительно небольшой разнице в скоростях. Слишком большое отношение скоростей $n_2:n_1>2:1$ может привести к неустойчивой работе регулятора на меньшей скорости и очень невыгодно с энергетической точки зрения.

Вообще к. п. д. двигателя с регулятором всегда ниже, чем без регулятора, и снижение это тем сильнее, чем больше перепад между стабилизированной скоростью и естественной скоростью без регулятора. С этой точки зрения надо стремиться к уменьшению перепада между естественной и стабилизированной скоростями, а в магнитофонах во всех случаях, когда это возможно (в режимах «перемотка», «ускоренный вперед»), переводить электродвигатель на работу без регулятора.

ЗАЩИТА КОНТАКТОВ РЕГУЛЯТОРА

Надежность электродвигателей с центробежным контактным регулятором ограничивается главным образом из-за наличия разрывных контактов, на чью долю приходится бо́льшая часть отказов в работе электродвигателей. Условия работы контактов регулятора даже при самых небольших токах остаются сравнительно тяжелыми: частота срабатывания колеблется от нескольких десятков до сотен герц, рабочее давление минимально и стремится к нулю, относительное проскальзывание контактов отсутствует. Небольшое облегчение дает то, что перед каждым пуском двигателя контактное давление достигает 15—20 *Г*, а во время работы регулятора допускаются отдельные кратковременные сбои контактирования.

Исторически сложилось так, что центробежные регуляторы применялись в электродвигателях еще задолго до появления полупроводниковых триодов в их современном виде и все регуляторы включались прямо в цепь якоря. Защита контактов сводилась к их шунтированию резисторами и различными цепочками, содержащими *R, C* элементы (рис. 32,*а*).

Защита шунтированием резисторами широко применяется и в настоящее время, особенно в регуляторах с контактами, включенными в разрыв обмотки якоря. В таких регуляторах малогабаритные резисторы типа МЛТ или УЛМ встраиваются в плату регулятора по одному на каждую пару контактов. Резисторы подключаются параллельно контактам, шунтируют их и не позволяют развиваться высокому напряжению в момент разрыва индуктивной цепи якоря. Чем меньше сопротивление шунтирующего резистора, тем лучше он защищает контакты. Но уменьшать сопротивления резисторов можно до определенного предела, так как ток, протекающий через них (параллельно разомкнутым контактам), может оказаться достаточным для выхода двигателя на естественную характеристику со скоростью, превышающей стабилизированную.

В двигателях, имеющих регулятор с кольцами, шунтирующие элементы могут располагаться на статоре или отдельно от двигателя. Здесь применяются более сложные, комбинированные, схемы, которые, кроме защиты контактов, выполняют функции фильтров, снижающих электромагнитные помехи от электродвигателя.

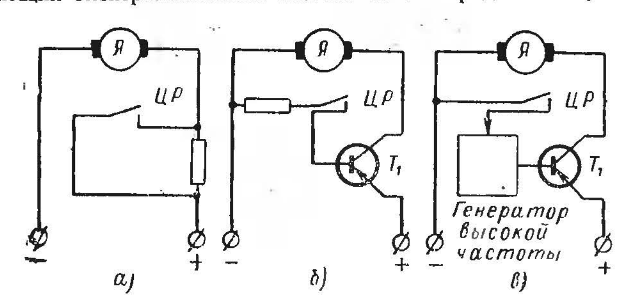


Рис. 32. Защита контактов регулятора.
а — шунтированием резистором; *б* — транзисторной схемой на постоянном токе; *в* — транзисторной схемой на переменном токе.

На рис. 33 изображена одна из защитных схем. В ней вместо резистора, сопротивление которого неизменно, параллельно контактам включена лампа накаливания *Л* с нелинейной зависимостью сопротивления от тока. Она увеличивает свое сопротивление при повышении напряжения, чем способствует стабилизации скорости и, наоборот, уменьшает свое сопротивление при снижении напряжения, чем способствует лучшей защите контактов. В магнитофоне лампа располагается в месте, доступном для наблюдения, и попутно выполняет роль индикатора нормальной работы регулятора: когда батареи свежие и регулятор работает устойчиво, она светится ярким мерцающим светом; если батареи разрядились и регулятор перестал действовать, она горит тусклым ровным светом или совсем не загорается. Параллельно якорю в непроводящем направлении включен диод *Д*. Он образует контур, по которому замыкаются экстратоки якоря, возникающие в момент разрыва контактов. Диод снижает помехи и несколько улучшает к. п. д. системы. Конденсатор *С* служит для защиты от электрических помех, распространяющихся по проводам.

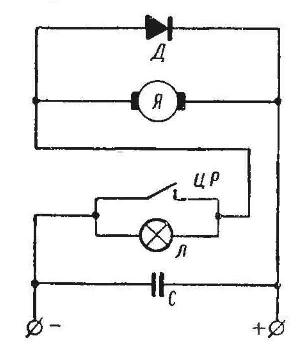


Рис. 33. Схема включения двигателя с регулятором, действующим в цепи якоря.

С развитием полупроводниковой техники появилась реальная возможность облегчить условия работы контактов регулятора за счет значительного снижения тока, протекающего по контактам. Для защиты контактов стали применяться транзисторные схемы (рис. 32,*б* и *в*). Бóльшая часть электродвигателей, в которых ком-

мутация индуктивной цепи якоря ранее осуществлялась непосредственно контактами регулятора, была теперь переведена на работу в совокупности с транзисторными схемами, где ток якоря коммутируется цепью эмиттер — коллектор транзистора, а разрывные контакты регулятора действуют в управляющей цепи транзисторной схемы и коммутируют слабые токи базы транзистора. Схемы действуют по принципу транзисторного ключа: при замкнутых контактах регулятора проходной триод T_1 отперт, ток беспрепятственно протекает через якорь и двигатель разгоняется; при разомкнутых контактах регулятора проходной триод заперт, электродвигатель обесточен и тормозится.

Стабилизация скорости происходит так же, как и раньше, когда контакты регулятора находились в цепи якоря, с той лишь разницей, что функции силовых контактов теперь выполняет транзистор, который повторяет команды контактов регулятора. Условия работы контактов в управляющих цепях транзисторных схем существенно отличаются от прежних: коммутируемые токи минимальны, величина не превосходит нескольких миллиампер (в схемах с одним транзистором) и долей миллиампера (в схемах с двумя транзисторами). Напряжение на контактах составляет 6—12 *в*. Нагрузка в цепи контактов смешанная и в зависимости от построения схемы носит емкостный или индуктивный характер. Частота срабатывания несколько ниже чем при прямом включении, а контактное давление и другие факторы остаются аналогичными.

При малых токах очень важно соблюдать чистоту контактов: защищать их от пыли, загрязнения маслом и т. п. Опыт показывает, что в регуляторах открытого типа в процессе эксплуатации контакты покрываются слоем пыли, которая часто приводит к нарушению контактирования. Пыль, тонкая как пудра, проникает в самые узкие щели и под действием электростатического поля, образующегося при коммутации, больше всего прилипает к наэлектризованной поверхности контактов. Но даже если пыли нет или форма контактов такова, что пыль не удерживается на их рабочей поверхности, нарушение контактирования маломощных контактов наступает со временем из-за образования в точке соприкосновения контактов и вблизи ее едва заметного рыхлого, маслянистого на вид налета. Его легко обнаружить при осмотре поверхности контактов под микроскопом. Это налет органического происхождения. Он образуется из-за присутствия в воздухе паров различных органических веществ, которые под действием микроскопических электрических разрядов превращаются в липкую неэлектропроводящую массу черного или темно-коричневого цвета. Еще хуже, если в воздухе присутствуют пары некоторых неорганических веществ, например серы или сероводорода. От этих паров на поверхности золотых и серебряных контактов образуются прочные непроводящие пленки.

Таким образом, нарушение контактирования в регуляторах, рассчитанных на малые токи, происходит не из-за подгорания или износа контактов, как это имеет место в регуляторах прямого включения, а в результате образования на контактах неэлектропроводящего налета, либо прочных непроводящих пленок или прилипания к поверхности контактов частичек пыли.

Возвращаясь к описанию транзисторных схем, нужно отметить, что, кроме своего основного назначения — защиты контактов, они способствуют подавлению электромагнитных помех, вызванных действием регулятора. Они снижают помехи, что, однако, не исключает

применения низкочастотных и высокочастотных защитных фильтров (см. гл. 5).

Требования защиты контактов и требования подавления помех зачастую противоречивы, например, наилучшее подавление помех получается при включении конденсатора большой емкости параллельно контактам регулятора. Но такое шунтирование недопустимо по двум причинам: во-первых, потому, что оно приведет к ухудшению качества стабилизации скорости из-за нарушения синхронности действия контактов и проходного триода T_1 (проходной триод

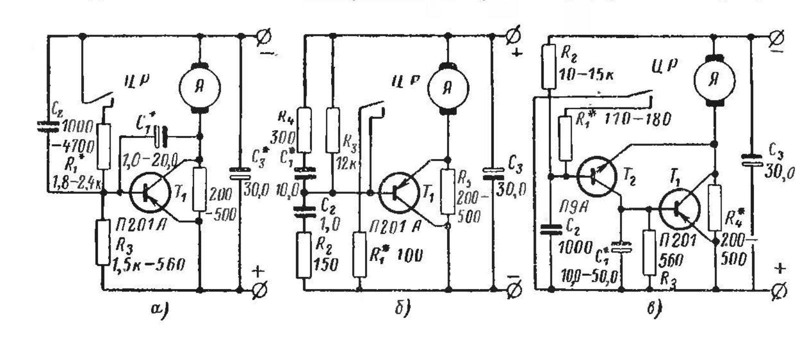


Рис. 34. Схемы включения двигателя с якорем.
а — в коллекторе транзистора; *б* — в эмиттере транзистора; *в* — в коллекторе проходного транзистора (с двумя транзисторами).

будет оставаться открытым при разомкнутых контактах до тех пор, пока не зарядится конденсатор), и, во-вторых, потому, что при каждом замыкании конденсатор будет разряжаться на контакты, быстро выводя их из строя.

При отработке транзисторных схем идут на компромисс, подбирая параметры защитных RC-цепочек и варианты их включения так, что они наилучшим образом защищают контакты, удовлетворительно подавляют помехи и в то же время не нарушают стабилизации скорости вращения из-за чрезмерного снижения частоты срабатывания контактов.

На рис. 34 представлены варианты хорошо зарекомендовавших себя транзисторных схем включения электродвигателей. Они обеспечивают безотказную работу контактов регулятора без профилактики в течение нескольких тысяч часов. Ориентировочные значения величин сопротивлений резисторов и емкости конденсаторов даны на схемах. Элементы, отмеченные звездочками, корректируются в зависимости от ожидаемого перепада нагрузок на валу двигателя, пределов изменений питающего напряжения и коэффициента усиления триодов. Величина резистора R^*_1 выбирается по возможности большей. Критерием для выбора служит падение напряжения на проходном триоде T_1: при замкнутых контактах регулятора он должен полностью отпираться на нижнем пределе напряжения.

Увеличение емкости конденсатора C_1 резко влияет на способность схемы подавлять помехи, однако чрезмерное увеличение емкости может искусственно снизить частоту срабатывания контактов регулятора и нарушить стабилизацию скорости. Нарушение стабилизации по этой причине сопровождается характерными скачками

скорости, особенно ярко выраженными на повышенном напряжении. Учитывая это, подбор оптимальной емкости конденсатора C_1 делают при максимальном напряжении питания и минимальной нагрузке на валу. Конденсатор C_1 должен быть качественным, чтобы проходной триод не приоткрывался током утечки конденсатора. В этой связи следует сделать еще одно замечание об источниках питания. Как известно, бо́льшая часть магнитофонов укомплектовывается приставками для включения в сеть переменного тока. На выходе выпрямителя-приставки получается пульсирующее напряжение, которое сглаживается фильтром. Если сглаживание недостаточно эффективно, переменная составляющая тока, проходя через конденсаторы, приоткрывает проходной триод и может ухудшить стабилизацию скорости. Влияние пульсации можно оценить, сравнивая работу двигателя от выпрямителя с работой от химических источников тока.

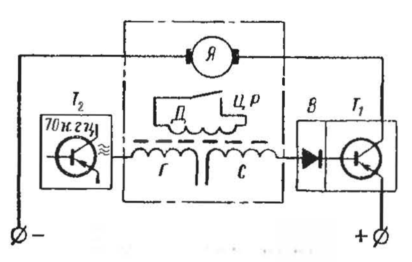


Рис. 35. Блок-схема включения двигателя с высокочастотным генератором в цепи регулятора.

Если мощность, рассеиваемая проходным триодом T_1, близка к предельно допустимой, его необходимо защитить от перегрева лучше всего посредством радиатора. В тех же случаях, когда значительных изменений нагрузки на валу двигателя не ожидается, для защиты транзистора от перегрева можно зашунтировать его резистором.

Проверку схем и подбор элементов (особенно транзисторов) нужно вести с учетом отклонений их свойств на предельных температурах; при этом полезно ориентироваться по осциллографу, который подключается параллельно контактам регулятора или резистору R_1. На осциллографе наблюдается кривая тока в управляющей цепи. По кривой на экране судят о влиянии емкости конденсаторов и сопротивления резисторов на частоту срабатывания контактов регулятора. Искажение нормальной формы «пилы» и чрезмерное снижение частоты срабатывания контактов при подключении конденсатора C_1 свидетельствуют о его излишней емкости.

Дальнейшее усовершенствование регуляторов и транзисторных схем включения шло по пути полного устранения из системы регулирования элементов с повышенной ненадежностью — контактных колец и щеток, а также по пути облегчения условий работы разрывных контактов регулятора за счет перевода управляющих цепей транзисторных схем на токи высокой частоты (см. рис. 32,*в*). Блок-схема такого типа представлена на рис. 35. Контакты регулятора в этой схеме обтекаются током высокой частоты, а вместо колец со щетками используется трансформаторная связь. Схема состоит из генератора высокой частоты, собранного на транзисторе T_2, обмотки генератора *Г*, обмотки связи *С*, демпфирующей обмотки *Д* и проходного триода T_1 с выпрямительным диодом *В* в цепи базы. Все три обмотки индуктивно связаны и вместе с ферритовым сердечником представляют собой трехобмоточный трансформатор. Трансформатор (рис. 36) состоит из двух частей: неподвижной и

подвижной, которая вращается вместе с валом и центробежным регулятором (*ЦР*). Обмотка генератора *4* и обмотка связи *5* намотаны на одной катушке и расположены внутри неподвижной части ферритового сердечника *1*. Обмотка демпфирования намотана на подвижной части ферритового сердечника *2*, а ее концы соединены с контактами регулятора. Параметры высокочастотного генератора подобраны так, что при замкнутых контактах регулятора нагрузка от катушки демпфирования срывает генерацию, а при разомкнутых — генератор работает устойчиво.

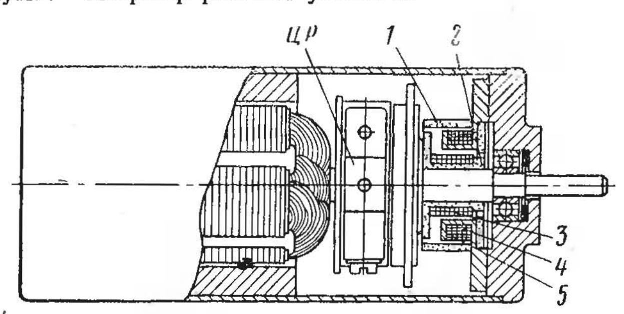


Рис. 36. Двигатель с центробежным регулятором и трехобмоточным трансформатором вместо колец.

Схема действует следующим образом. Когда на двигатель подается напряжение, контакты регулятора замкнуты и генератор не работает. Ток в катушке связи отсутствует, триод открыт, двигатель разгоняется. Как только он разгонится до номинальной скорости, происходит размыкание контактов, но при этом вступает в работу генератор, в катушке связи индуцируется э. д. с., которая после выпрямления диодом запирает проходной триод. Двигатель начинает тормозиться, пока контакты вновь не замкнутся и все не повторится сначала точно так же, как и во всех предыдущих случаях стабилизации скорости с помощью центробежного регулятора, действующего в схеме с проходным триодом.

Преимущество схемы с высокочастотным генератором по сравнению с остальными защитными транзисторными схемами в том, что в цепи контактов регулятора почти не протекает ток. В момент замыкания контактов генерация затухает и ток в катушке демпфирования прекращается. В момент размыкания катушка обесточена. Кроме того, полярность контактов во время коммутации непрерывно меняется, что, как известно, положительно отражается на работе контактов.

Схема с высокочастотным генератором работает без контактных колец и щеток, но это не значит, что ею нельзя воспользоваться для защиты контактов регулятора с кольцами. Для этого катушки генератора, связи и демпфирования наматываются на одном неподвижном сердечнике и располагаются вне электродвигателя. Однако здесь не исключается скользящий контакт на кольцах, что ограничивает возможности схемы.

В заключение следует заметить, что транзисторные схемы (см. рис. 34,*а* и *б*) при правильном подборе параметров в соответствии с конкретными условиями работы обеспечивают достаточно высо-

кую надежность и длительный срок службы контактов, а торцевые контакты на малых токах действуют безотказно. Поэтому совсем не обязательно стремиться к максимальному снижению тока, применяя более сложные схемы (рис. 34,*в* или 35). Их использование оправдывается в тех случаях, когда строго соблюдена форма контактов, подобраны их материал и технология изготовления, когда контакты надежно защищены от пыли, почти герметизированы. Если эти условия не выполнены, излишнее снижение тока, протекающего через контакты, нецелесообразно и, более того, может нанести ущерб безотказной работе.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В бытовых магнитофонах применяются бесщеточные электродвигатели со стабилизацией скорости вращения, которая осуществляется без каких-либо скользящих и разрывных контактов. Такие электродвигатели принято называть бесщеточными или бесконтактными. Бесконтактные электродвигатели отличаются от остальных электродвигателей постоянного тока тем, что у них обмотка находится на статоре и неподвижна, а вращается соединенный с валом магнит возбуждения.

Бесконтактный электродвигатель постоянного тока (рис. 37) состоит из якоря *Я*, магнита возбуждения *М*, коммутатора *К*, бесщеточного датчика положения *ДП* и стабилизатора скорости *С*. Коммутатор и датчик положения выполняют функции коллектора со щетками, а стабилизатор скорости — функции регулятора скорости. Работа бесконтактного электродвигателя постоянного тока аналогична работе коллекторного двигателя, у которого вместо якоря с обмоткой вращается магнит возбуждения со щетками.

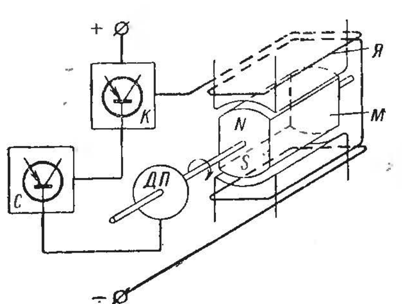


Рис. 37. Схема бесконтактного электродвигателя.

На рис. 38 показана схема коллекторного двигателя с вращающимся магнитом и неподвижной обмоткой. Этот двигатель является переходным вариантом от коллекторного к бесконтактному и очень хорошо иллюстрирует работу последнего. Он состоит из статора с обмотками w_1, w_2 и w_3, вращающегося магнита *1*, на одном валу с которым находятся контактное кольцо *2* и подвижная щетка *3*, которая скользит по неподвижному коллектору *4* и коммутирует секции обмотки. Обмотка из трех секций соединена

в звезду. Оставшиеся свободными три конца секций подведены к основному источнику питания U_1 через транзисторы коммутатора T_1, T_2 и T_3. С пластинами коллектора соединены базы транзисторов. Они отпираются напряжением вспомогательного источника U_2 с помощью подвижной щетки, закрепленной на валу. Когда подвижная щетка скользит по первой коллекторной пластине, на базу транзистора T_1 подается отрицательное напряжение, транзистор отпирается и по секции w_1 течет рабочий ток. Магнит взаимодействует с током и поворачивается, пока его ось $N—S$ не совпадет с осью секции w_1. В этот момент щетка переходит на соседнюю пластину, отпирается транзистор T_2, магнит вновь стремится занять положение по оси секции с током, поворачивается в сторону секции ω_2 и т. д. Происходит непрерывное вращение магнита. В двигателе-гибриде коммутация рабочего тока в секциях осуществляется, так же как в любом бесконтактном двигателе, транзисторами T_1, T_2 и T_3, а коллектор выполняет вспомогательные функции и служит для коммутации слабых токов в управляющих цепях. Условия работы щеток предельно облегчены, но скользящий контакт полностью не исключен.

На рис. 39 представлена схема полностью бесконтактного электродвигателя. Электродвигатель имеет вращающийся магнит *1*, обмотку из трех секций w_1, w_2 и w_3, соединенных в звезду и через транзисторы коммутатора T_1, T_2 и T_3 связанных с источником питания. Поочередное отпирание транзисторов коммутатора осуществляется не с помощью коллектора и вспомогательной щетки, а датчиком положения *2*, который питается переменным током от генератора *3*.

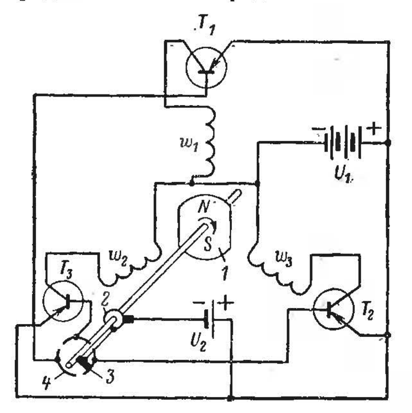


Рис. 38. Схема коллекторного электродвигателя с вращающимся магнитом и неподвижной обмоткой.

Датчик положения представляет собой многообмоточный трансформатор с ферритовым сердечником. Часть ферритового сердечника с обмотками неподвижна, а другая в виде сегмента *С* жестко связана с валом и вращается вместе с ним. Неподвижная часть имеет три когтеобразных полюса. Посреди них расположен четвертый, также неподвижный, средний цилиндрический полюс с отверстием для вала. На среднем полюсе находится первичная обмотка L_4, которая питается от высокочастотного генератора, а на трех когтеобразных — обмотки L_1, L_2 и L_3 — вторичные обмотки трансформатора. Вторичные обмотки включены в цепи баз транзисторов коммутатора. С помощью ферритового управляющего сегмента вторичные обмотки могут поочередно вступать в индуктивную связь с первичной обмоткой генератора, причем когда одна из вторичных катушек вступает в связь и в ней наводится э. д. с., две остальные индуктивной связи с первичной обмоткой не имеют.

В комплексе все устройство действует так: в тот момент, когда управляющий сегмент находится напротив когтеобразного полюса с катушкой L_1, в ней наводится э. д. с. и возникает ток, который после выпрямления диодом $Д_1$ отпирает транзистор T_1. По секции w_1 течет рабочий ток, магнит поворачивается и стремится

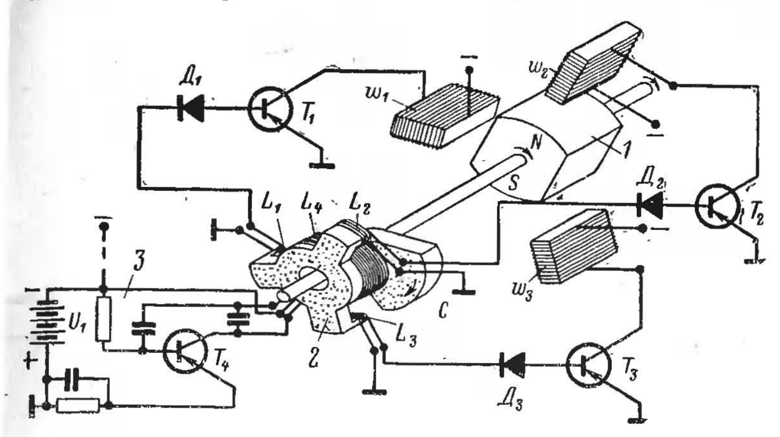


Рис. 39. Бесконтактный электродвигатель постоянного тока.

занять положение вдоль оси секции с током, но при повороте управляющий сегмент перемещается ко второму когтеобразному полюсу с катушкой L_2, отпирается транзистор T_2 и т. д., а магнит продолжает вращаться следя за переключением секций.

КОНСТРУКЦИИ И СХЕМЫ

В магнитофонах встречаются варианты бесконтактных электродвигателей с внутренним и наружным магнитами (см. рис. 8). Двигатели с наружным магнитом предпочтительнее, так как они обладают бóльшим моментом инерции и в тех же габаритных размерах обеспечивают лучшую равномерность хода в пределах одного оборота.

На рис. 40 изображен в разрезе бесконтактный электродвигатель с наружным магнитом. Двухполюсный вращающийся магнит *1* в виде полого цилиндра охватывает снаружи неподвижный якорь с обмоткой *2*. Датчик положения *3* находится на левом подшипниковом щите. На полюсах датчика расположены первичная L_4 и вторичные обмотки L_1, L_2 и L_3. Управляющий сегмент *C* укреплен на дне стакана с магнитом. Обмотка заложена в пазы пакета неподвижного якоря и состоит из шести секций, объединенных попарно в катушки w_1, w_2 и w_3, которые сдвинуты между собой на угол 120°. Пакет неподвижного якоря, так же как и в двигателях с вращающейся обмоткой, набран из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга для уменьшения потерь от вихревых токов. Весь двигатель заключен в корпус, который в данном случае не несет магнитных нагрузок.

На рис. 41 в разобранном виде представлен бесконтактный электродвигатель бытового магнитофона. Справа видны ротор *1* с цилиндрическим магнитом и ферритовым управляющим сегментом *2* на дне стакана и корпус двигателя *3*. Слева от них находится пакет неподвижного якоря с обмоткой *4*. Пакет жестко связан с правым подшипниковым щитом. Чуть выше находится левый

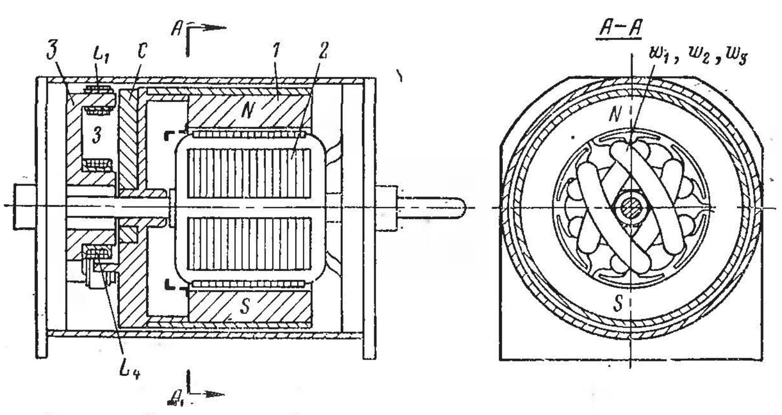


Рис. 40. Бесконтактный электродвигатель с наружным магнитом.

подшипниковый щит *5* с датчиком положения. От него отходят монтажные провода, которые соединяют обмотки датчика положения с коммутатором и остальной электронной частью схемы, расположенной на плате с печатным монтажом *6*. Силовые транзисторы нахо-

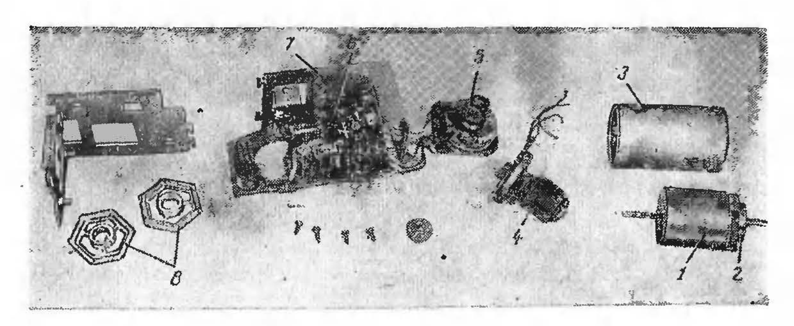


Рис. 41. Бесконтактный электродвигатель с наружным магнитом в разобранном виде.

дятся на обратной стороне радиатора *7* (на рисунке не видны). Радиатор одновременно служит несущей конструкцией для крепления электродвигателя. Еще один радиатор (в виде медного листа) расположен на монтажной плате. Он служит не столько для теплоотвода, сколько для выравнивания температуры элементов стабилизато-

ра скорости. В середине платы укреплен подстроечный резистор со шлицем под отвертку. В углу платы установлен ферритовый сердечник, внутри которого находятся катушки генератора. Слева даны остальные элементы конструкции, служащие для связи электродвигателя с платой магнитофона. Электродвигатель подвешивается на двух эластичных пластмассовых амортизаторах 8.

На рис. 42 показана принципиальная схема электронной части двигателя. В нее входят коммутатор и высокочастотный генератор, объединенный со стабилизатором скорости. Коммутатор со-

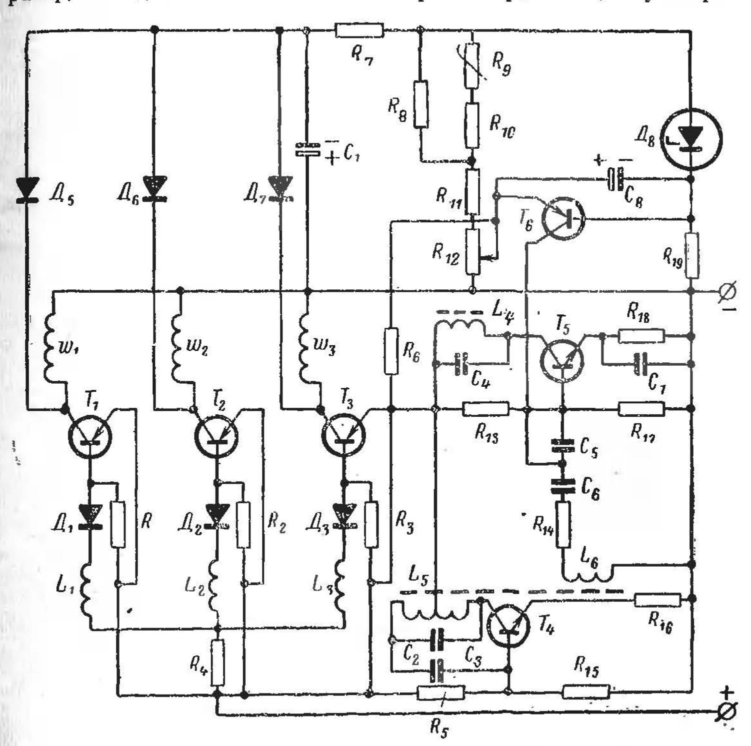


Рис. 42. Принципиальная схема бесконтактного двигателя.

стоит из трех транзисторов T_1, T_2 и T_3, в силовую цепь которых включены обмотки двигателя w_1, w_2 и w_3. В цепь базы транзисторов через диоды $Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$ включены вторичные катушки датчика положения ротора L_1, L_2 и L_3. Назначение и действие этих элементов схемы было описано выше. Остальные элементы схемы входят в состав генератора и стабилизатора скорости. К ним относятся катушки генератора L_5 и L_6 и первичная катушка датчика положения ротора L_4, которая находится внутри двигателя, диоды $Д_5$, $Д_6$, $Д_7$ и стабилитрон $Д_8$, все конденсаторы и резисторы. Резистор R_{12} является подстроечным и служит для установки номинальной скорости вращения двигателя. Терморезистор R_9 пред-

назначен для термостабилизации элементов стабилизатора скорости — транзистора T_6 и стабилитрона $Д_8$, тепловое состояние которых существенно влияет на дрейф скорости.

В качестве сигнала, характеризующего скорость вращения, в схеме используется э. д. с. пассивных секций обмотки двигателя, амплитуда э. д. с. которых, как известно, пропорциональна скорости вращения независимо от того, являются ли они секциями специального тахогенератора или служат одновременно секциями двигателя. Конденсатор C_1 через диоды $Д_5$, $Д_6$ и $Д_7$ заряжается до амплитудного значения э. д. с., т. е. пропорционально скорости вращения. Напряжение на конденсаторе C_1 сравнивается с опорным напряжением на стабилитроне и управляет переменным током высокой частоты в катушке L_4, срывая генерацию, когда напряжение становится больше определенной величины. Причем в сравнении участвует не все напряжение, а лишь часть, снятая с делителя R_7—R_{12}. Доля снимаемого напряжения регулируется подстроечным резистором так, что генерация высокочастотного генератора срывается в тот момент, когда скорость вращения начинает превышать номинальную.

Стабилизация скорости происходит следующим образом. При подключении к источнику питания двигатель, обладающий достаточным запасом мощности, разгоняется. Как только его скорость достигнет номинальной и чуть-чуть начнет ее превышать, напряжение на конденсаторе C_1 становится достаточным, чтобы сорвать генерацию и обесточить катушку L_4. Когда ток в первичной катушке L_4 исчезнет, во вторичных катушках датчика положения при прохождении управляющего сегмента не будет наводиться э. д. с. Силовые транзисторы перестанут отпираться, а обесточенный двигатель будет тормозиться, пока его скорость не сравняется с номинальной, при которой опять заработает высокочастотный генератор, и весь процесс повторится вновь.

Для предотвращения произвольного приотпирания транзисторов последовательно со вторичными катушками включен резистор R_4, на котором создается смещение, надежно запирающее не работающие в данный момент транзисторы и в то же время не препятствующее по команде датчика положения полному их отпиранию. Последнее очень важно, ибо излишнее падение напряжения на силовых транзисторах ухудшает к. п. д. двигателя. Силовые транзисторы в коммутаторе обычно выбираются с большим запасом по мощности и напряжению во избежание повреждения их пусковым током и напряжением, которое прикладывается к транзисторам в момент запирания секций.

В настоящее время разнообразие конструкций бесконтактных электродвигателей и схем коммутаторов постоянно увеличивается. Особенно сильные изменения претерпевают конструкции датчиков положения и схемы их включения. В качестве датчиков положения в настоящее время наибольшее распространение получили датчики, использующие для своей работы энергию магнитного поля. К ним относятся индукционные датчики, магниторезисторы, датчики Холла.

Один из последних бесконтактных электродвигателей, успешно применяемый в магнитофонах, имеет датчик положения, собранный на магниторезисторах. Магниторезисторы в этом двигателе представляют собой тонкие керамические пластинки, на поверхности которых нанесен полупроводниковый слой толщиной около 20 *мкм*. Основное сопротивление слоя 170 *ом*. Если такой магниторезистор

попадает в магнитное поле с индукцней около 0,3 *тл*, его сопротивление возрастает до 500 *ом*. Этим свойством и пользуются для управления транзисторами коммутатора. Магниторезисторы помещаются в воздушный зазор между магнитом и ярмом. При прохождении магнита мимо магниторезистора он меняет свое сопротивление, благодаря чему совершается коммутация соответствующего транзистора.

Принцип действия бесконтактного двигателя с датчиками положения на магниторезисторах такой же, как у рассмотренного выше. Его схема несколько проще, так как в ней нет генератора высокой частоты, питающего индукционные датчики положения, и соответственно выпрямительных диодов. Однако выигрыш, полученный в этой части, приводит к проигрышу в части схемы, относящейся к коммутатору, где в каждой ячейке рядом с силовым транзистором приходится вводить еще по одному дополнительному транзистору для усилеиия сигналов, поступающих от магниторезисторов.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Электродвигатели постоянного тока имеют неоспоримые преимущества перед другими видами электродвигателей. Малый вес, высокий к. п. д., широкий диапазон и простота регулирования делают их незаменимыми в магнитофонах. Однако наличие коллектора и щеток, контактных колец и разрывных контактов в регуляторе ограничивает срок службы электродвигателей, снижает их надежность, а следовательно, и безотказность работы магнитофона в целом.

Контакты являются источником электромагнитных помех и акустического шума, пыль от истирающихся щеток проникает в подшипники и нарушает их нормальную работу — все это снижает достоинства коллекториых электродвигателей постоянного тока и служнт барьером на пути использования их в магнитофонах, эксплуатирующихся в тяжелых климатических условиях с длительными перерывами между включениями, во взрывоопасной среде и других отличающихся от нормальных условий. В ряде случаев это приводит к тому, что коллекторные электродвигатели постоянного тока не могут конкурировать с более надежными бесконтактными электродвигателями переменного тока, несмотря на то, что последние значительно уступают им по удобству регулирования, размерам, не говоря уже об энергетических показателях, которые в случае применения двигателя переменного тока с питанием от источника постоянного тока через преобразователь снижаются дважды: и за счет относительно низкого к. п. д. самого двигателя, и за счет потерь энергии в преобразователе постоянного тока в переменный.

Бесконтактный электродвигатель постоянного тока — последнее слово техники в области электромашиностроения для магнитофонов. Он обладает рядом преимуществ не только перед коллекторными электродвигателями постоянного тока, но и перед электродвигателями переменного тока. Объединяя в себе надежность электродвигателей переменного тока с хорошими рабочими и регулировочными свойствами электродвигателей постоянного тока, бесконтактные электродвигатели отличаются высокой надежностью, большим сроком службы, который ограничивается исключительно ресурсом под-

шипников. Они могут храниться продолжительное время и немедленно включаться в действие без предварительной подготовки, чего нельзя добиться в коллекторных двигателях из-за изменений в скользящих контактах. Бесконтактные электродвигатели не требуют никакого специального ухода. Их работа бесшумна. Акустический шум в основном определяется подшипниками и в случае применения подшипников скольжения может быть значительно ниже, чем у обычных коллекторных электродвигателей. То же относится и к электромагнитным помехам, которые у них, как правило, намного ниже, чем у коллекторных электрических машин, так как отсутствуют высокочастотные помехи, вызываемые искрением на коллекторе.

Коэффициент полезного действия бесконтактных электродвигателей хотя и ниже, чем у лучших образцов коллекторных машин, все же находится на уровне средних электродвигателей постоянного тока и намного выше, чем у электродвигателей переменного тока. По точности стабилизации они ни в чем не уступают коллекторным машинам и даже превосходят их. В случае надобности, так же как и коллекторные электродвигатели со специальными датчиками, они могут быть синхроннзированы сигналами эталонного генератора. Все эти качества делают бесконтактные электродвигатели постоянного тока чрезвычайно привлекательными для применения в магнитофонах.

Основным недостатком бесконтактных двигателей являются их относительная сложность и высокая стоимость. Размеры бесконтактных двигателей вместе с коммутатором, датчиком положения и другими устройствами на полупроводниках, которые обязательно сопутствуют каждому бесконтактному электродвигателю, пока получаются бо́льшими, чем у коллекторных электродвигателей эквивалентной мощности.

В отношении равномерности вращения в пределах одного оборота бесконтактные электродвигатели также уступают коллекторным. Известно, что чем больше секций имеет коллекторный электродвигатель, тем лучше его равномерность хода; то же самое справедливо и для бесконтактных электродвигателей, однако, если в коллекторных электродвигателях увеличение числа секций не вызывает затруднений, то в бесконтактных электродвигателях это связано со значительными усложнениями, так как на каждую дополнительно введенную в якорь секцию нужна своя ячейка в коммутаторе. Поэтому практически число переключающихся секций в бесконтактных электродвигателях бытовых магнитофонов не превышает трех-четырех.

В связи с бурным развитием полупроводниковой техники недостатки бесконтактных электродвигателей все больше и больше оттесняются на второй план, и нет сомнения, что в недалеком будущем бесконтактные электродвигатели постоянного тока займут ведущее место среди электродвигателей для портативных магнитофонов.

ПОМЕХИ ОТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Коллекторные электрические машины являются интенсивными источниками электромагнитных помех в широком диапазоне частот, начиная от десятков герц, кончая частотами в несколько десятков мегагерц.

Электромагнитные помехи от электрических машин воздействуют на различные элементы радиосхем (магнитные головки, трансформаторы, монтажные провода и др.). Проникая в звукозаписывающий тракт магнитофона, помехи прослушиваются при воспроизведении звука, а при записи попадают в фонограмму.

Борьба с помехами от коллекторных электрических машин — сложная проблема, которая на сегодняшний день в магнитофонах не нашла вполне удовлетворительного разрешения. Трудности, связанные с устранением помех от коллекторных электродвигателей, настолько серьезны, что они служат одной из основных причин того, что в магнитофонах коллекторные электродвигатели в ряде случаев заменяют более сложными бесконтактными, не создающими столь интенсивных помех.

В технике магнитной записи звука электромагнитные помехи от электрических машин принято подразделять на следующие три вида: низкочастотные магнитные, низкочастотные электрические и радиопомехи.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ

Любая электрическая машина имеет магнитные поля рассеяния, которые выходят за пределы машины, образуя внешнее магнитное поле. Напряженность внешнего магнитного поля относительно мала и очень быстро убывает по мере удаления от электродвигателя, поэтому в электроприводах общего назначения внешнее магнитное поле не вызывает осложнений и на него не обращают внимания. Однако в магнитофонах, где вблизи электродвигателя находятся элементы, чрезвычайно чувствительные к воздействию магнитных полей, даже самое слабое поле от электродвигателя оказывается более чем достаточным, чтобы вызывать заметные помехи.

Внешнее магнитное поле электродвигателя имеет сложный состав. Его можно рассматривать как результат взаимодействия двух полей: постоянного, которое неизменно во времени, и переменного, которое является функцией времени. Постоянное поле окружает двигатель всегда — и во время работы, и в паузе, а переменное появляется только во время вращения якоря. Переменная составляющая поля намного слабее постоянной, но тем не менее она представляет опасность, так как именно она вызывает низкочастотные магнитные помехи (так называемые наводки) в диапазоне звуковых частот (от 30 до 20 000 *гц*), которые в магнитофонах прослушиваются через усилители как фон переменного тока или на более высоких частотах подобно чистому тону, записанному с большими нелинейными искажениями.

Постоянная составляющая поля хотя непосредственно и не вызывает помех, может оказать влияние на работоспособность магнитных головок, трансформаторов и магнитостатических экранов,

которые при неудачном расположении насыщаются постоянным магнитным потоком.

Напряженность внешнего магнитного поля отдельно по составляющим может быть измерена в любой точке пространства, окружающего электродвигатель. Переменная составляющая измеряется с помощью миниатюрной катушки. Наведенная в катушке э. д. с. подается на вход анализатора гармоник, где амплитуда каждой из гармоник измеряется ламповым вольтметром.

Многочисленные лабораторные измерения показали, что в распределении поля в пространстве и его гармоническом составе есть некоторая закономерность. Например, вблизи боковой поверхности

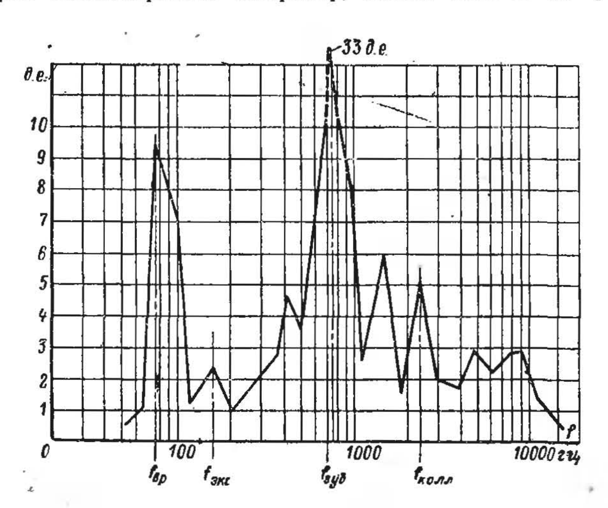


Рис. 43. Внешнее магнитное поле электродвигателя без регулятора (переменная составлиющая).

в районе полюсов и у вылета вала напряженность магнитного поля выше, чем у боковой поверхности в районе нейтральной зоны магнитов.

На рис. 43 приведена одна из характерных кривых гармонического состава напряженности внешнего магнитного поля, измеренная в точке, удаленной от боковой поверхности двигателя на расстояние 50 *мм.* По оси абсцисс в логарифмическом масштабе отложена частота гармоник, а по оси ординат в относительных единицах — напряженность магнитного поля. Как видно из графика, гармоники переменной составляющей внешнего поля распределены по всему звуковому диапазону и образуют сплошной спектр от самых низких до самых высоких звуковых частот. На общем фоне спектра отчетливо выделяются характерные пики. Частота, на которой появлиются пики, зависит от типа электродвигателя и его конструктивных особенностей. Обычно пики образуются за счет гармоник, имеющих частоту вращения, а также за счет зубцовых и коллекторных гармоник. Именно на этих частотах преимущественно и прослушиваются в магнитофонах магнитные наводки от

электрических машин. Причиной появления пиков является пульсация основного магнитного потока.

Пульсация с частотой вращения

$$f_{\text{вр}}=\frac{n}{60}, \qquad (24)$$

где $f_{\text{вр}}$ — частота вращения, *гц*; n — скорость вращения, *об/мин*.

Пульсация с двойной частотой вращения

$$f_{\text{экс}}=2f_{\text{вр}}. \qquad (25)$$

Пульсация с частотой зубцовых гармоник

$$f_{\text{зуб}}=Zf_{\text{вр}}, \qquad (26)$$

где Z — число зубцов якоря.

Пульсация с частотой коллекторных гармоник

$$\begin{aligned} f_{\text{кол}}&=kf_{\text{вр}} \text{ (для } k \text{ четного)};\\ f_{\text{кол}}&=2kf_{\text{вр}} \text{ (для } k \text{ нечетного)}, \end{aligned} \qquad (27)$$

где k — число коллекторных пластин.

Все гармоники кратны частоте вращения, следовательно частота помех зависит от скорости вращения якоря.

Пульсация с частотой вращения и двойной частотой вращения возникает из-за эксцентриситета якоря, несимметричности полюсов, неравномерной магнитной проводимости и остаточной намагниченности стали якоря. При вращении в зависимости от угла поворота изменяется величина воздушного зазора, ориентация относительно полюсов остаточной намагниченности стали якоря, т. е. меняется магнитное сопротивление магнитопровода и соответственно рабочий магнитный поток машины.

Пульсация с частотой зубцовых гармоник возникает аналогично пульсации от эксцентриситета якоря, но с более высокой частотой, также из-за изменения магнитной проводимости воздушного зазора, которая обусловлена зубчатым строением пакета якоря.

Пульсация с частотой коллекторных гармоник возникает в результате периодического изменения числа действующих секций якоря из-за перекрытия коллекторных пластин щеткой и замыкания части секций в период коммутации.

Для снижения пульсации магнитного потока в электродвигателях, предназначенных для магнитофонов, увеличивают воздушный зазор, следят за строгой симметрией полюсов, цилиндричностью якоря и отсутствием эксцентриситета, отжигают листы пакета якоря и набирают их веером. Пазы якоря (или края полюсов) скашиваются по винтовой линии не менее чем на одно зубцовое деление; число пазов якоря и число коллекторных пластин выбирают нечетным и по возможности большим. Переходят на электродвигатели, у которых якорь вообще не содержит стали. Эти двигатели свободны от пульсаций магнитного потока, обусловленного переменным магнитным сопротивлением магнитопровода. У двигателей этой группы наблюдается лишь пульсация магнитного потока с частотой коллекторных гармоник, но и те выражены слабо, так как секции обмотки из-за отсутствия стали в якоре и наличия большого воздушного зазора обладают малой индуктивностью.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ

Обмотка якоря электродвигателя сцепляется с рабочим магнитным потоком. Ток якоря взаимодействует с магнитным полем. Любое колебание магнитного потока неминуемо влечет за собой ответное колебание тока. Так что пульсация рабочего магнитного потока, которая возникает при вращении якоря, вызывает соответствующую пульсацию тока. Кроме того, пульсация тока возникает в результате периодического замыкания щетками части секций. По этим причинам ток, потребляемый двигателями постоянного тока, является не постоянным, а пульсирующим. Переменная составляющая пульсирующего тока и служит источником низкочастотных электрических помех.

Пульсацию тока можно наблюдать на осциллографе и исследовать с помощью анализатора гармоник. С этой целью на вход анализатора подается напряжение, снятое с резистора, включенного в цепь питания двигателя. Если сравнить график пульсации тока с графиком пульсации внешнего магнитного поля (рис. 43), то легко убедиться в том, что кривая пульсации тока почти не отличается от кривой напряженности внешнего магнитного поля. Благодаря этому электрические наводки прослушиваются в магнитофонах так же, как и магнитные, что часто служит причиной ошибок при выборе средств защиты.

Электрические низкочастотные помехи проникают в звукозаписывающий тракт двумя путями: посредством электрических полей и посредством прямой гальванической связи за счет общих источников питания и соединительных проводов.

Особенно сильно сказываются электрические помехи при неудачном монтаже силовых цепей, когда проводники от источника питания или выключателя электродвигателя проходят рядом с первыми каскадами усилителей и элементами, обладающими высокой чувствительностью, а также при неудачном выборе места заземления монтажа усилителей.

В бытовых магнитофонах чаще всего прослушиваются электрические помехи с частотой коллекторных гармоник, интенсивность которых сильно зависит от состояния коммутации и резко повышается даже при незначительном искрении под щетками. Нередки случаи, когда в отлично работающих магнитофонах при загрязнении коллектора угольной пылью или случайного попадания смазки и возникшего по этой причине искрения вдруг появляются «трески» с частотой коллекторных гармоник.

Все сказанное выше о магнитных и электрических помехах относилось к помехам, которые создаются одним электродвигателем без регулятора. Если электродвигатель снабжен регулятором скорости, например контактным центробежным, или питается пульсирующим напряжением, картина полей рассеяния и помех значительно усложняется. Центробежный регулятор непрерывно размыкает и замыкает цепь питания электродвигателя. В результате этого на периодические помехи с частотой вращения и кратными ей частотами накладываются помехи, которые возникают в такт срабатывания контактов регулятора из-за резкого изменения тока якоря, причем сам характер срабатывания контактов (с искрением или без искрения) заметно отражается на интенсивности помех.

Помехи от действия контактов регулятора прослушиваются, как непрерывно повторяющиеся щелчки. Радиолюбители называют их

«песком», так как они напоминают шум песчинок, ударяющихся о стекло. С увеличением нагрузки на валу щелчки от работы регулятора прослушиваются все более и более отчетливо, пока не наступает момент срыва стабилизации скорости, когда контакты перестают размыкаться. При постоянно замкнутых контактах помехи от регулятора полностью прекращаются. Этим пользуются при распознавании источника помех. Двигатель в магнитофоне постепенным увеличением нагрузки доводят до срыва стабилизации скорости. Если при этом помехи сначала усиливаются, а затем исчезают, то источник помех — регулятор.

РАДИОПОМЕХИ

Радиопомехи относятся к высокочастотным помехам, которые имеют частоту выше 20 *кгц*. Помехи с такой частотой лежат за порогом слышимости и непосредственно на слух не воспринимаются. Но если высокочастотные электромагнитные колебания радиопомех промодулированы сигналами звуковой частоты, то, точно так же как при передаче звука по радио, будучи продетектированы, они становятся доступными восприятию человеческим ухом.

В магнитофонах радиопомехи от коллекторных электрических машин могут прослушиваться как периодические шумы, повторяющиеся с определенной частотой, и хаотические без определенного периода. Частота периодических шумов определяется частотой модуляции. Чаще всего прослушиваются шумы с частотой коллекторных гармоник и хаотические шумы, которые появляются от искрения разрывных контактов регулятора, иепериодического изменения интенсивности искрения на коллекторе и по другим причинам случайного характера. Источником радиопомех в электродвигателе являются искрящие щетки коллектора, щетки колец регулятора, искрящие разрывные контакты центробежного регулятора.

В отличие от низкочастотных помех, которые ироявляются лишь в непосредственной близости от электродвигателя, радиопомехи могут распространяться иа значительные расстояния и влиять на работу чувствительного радиоприемиика или телевизора, искажая звук и изображение.

Радиопомехи от электрических машин постоянного тока относят к разряду так называемых индустриальных помех. С индустриальными помехами ведется повсеместная борьба. Существуют нормы, которые определяют предельно допустимые радиопомехи, создаваемые электроустройствами на частотах 0,15—60 *Мгц*, за соблюдением мер по борьбе с помехами осуществляется надзор. Согласно установленным правилам все разработаниые типы электродвигателей проходят в составе магнитофона проверку по радиопомехам. На применение их в данных условиях выдается специальное разрешение.

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

Средства защиты от электромагнитных помех подразделяются на средства защиты от низкочастотных магнитных помех, средства защиты от низкочастотных электрических помех и радиопомех.

Для защиты магнитофоиа от иизкочастотных магиитных помех применяются магнитостатические экраны из ферромагнитных материалов (рис. 44). Машина помещается внутрь корпуса экрана *1*,

который закрывается крышкой *2*. Внутренняя поверхность экрана выкладывается эластичным материалом — пористой резиной или поролоном *3*. Прокладка служит амортизатором и одновременно выполняет роль звуковой, а в отдельных случаях и электрической изоляции. Сбоку в экране сделаны окна *4* для выхода ремешка. Снаружи на корпусе имеются три ушка *5* для крепления экрана к плате магнитофона. Подвеска осуществляется через резиновые втулки, вставленные в отверстия ушек. Втулки выполняют роль второго амортизатора и защищают плату магнитофона от вибрации со стороны электродвигателя. Магнитостатический экран локализует внешнее магнитное поле электродвигателя.

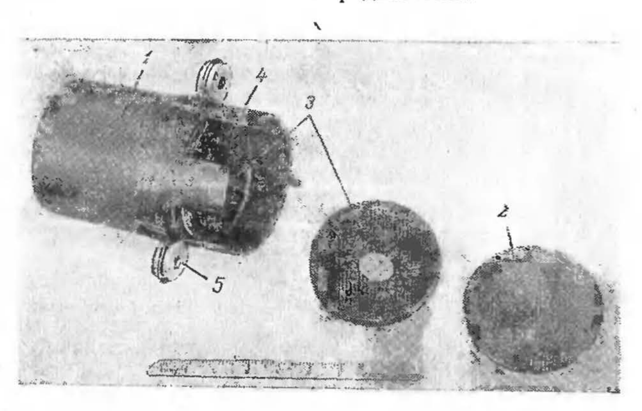


Рис. 44. Магнитостатический экран.

Действие экрана основано на том, что магнитный поток внешнего поля электродвигателя замыкается в толще металла вследствие его малого магнитного сопротивления и не проникает за пределы экранированного пространства. Материалом для экранов служат мягкая отожженная сталь 08КП, электротехническая сталь, армко, пермаллой и др.

Иногда применяются комбинированные трехслойные электромагнитные экраны. Трехслойный экран состоит из трех отдельных экранов, вставленных один в другой. Внутренний экран обычно делается из железа армко, средний — из меди, а наружный — из пермаллоя, отожженного после механической обработки. Эффективность действия трехслойных электромагнитных экранов зависит от частоты помех. Их защитные свойства сильнее проявляются на высоких частотах, когда начинает сказываться экранирующее действие вихревых токов. Вихревые токи, наведенные в экране, создают поле обратного действия навстречу полю помех и ослабляют его.

Преимущество комбинированных экранов ощутимо в высококачественных магнитофонах с широкой полосой воспроизводимых частот и низким уровнем собственных шумов. В бытовых магнитофонах обычно обходятся однослойным магнитостатическим экраном.

Для выхода ремешка и соединительных проводников в экранах делаются отверстия. Они ухудшают экранирующие свойства

экрана, их расположение должно приниматься во внимание при установке двигателя с экраном в магнитофоне. При конструировании экранов нужно следить за тем, чтобы прорези и швы не шли поперек направления магнитного потока, так как это уменьшает магнитную проводимость и ухудшает его экранирующие свойства. Например, нежелательно делать швы и разрезать магнитостатический экран вдоль корпуса.

Магнитостатический экран замыкает на себя весь внешний магнитный поток рассеяния электродвигателя, включая постоянную и переменную составляющие. Поскольку постоянная составляющая магнитного потока относительно велика, при неудачном расположении экрана она может насытить его.

Защитное действие экрана, насыщенного постоянным магнитным потоком, заметно ослабевает. Поэтому магнитостатические и электромагнитные экраны следует располагать по возможности дальше от полюсов магнитов возбуждения. Чем дальше экран отнесен от машины, тем эффективнее его действие.

Минимальное расстояние, на которое можно приблизить экран к корпусу двигателя, не опасаясь слишком сильно ослабить его экранирующие свойства, для разных типов двигателей неодинаково. Наиболее осторожно нужно подходить к экранировке электродвигателей, относящихся к первой группе. Внешние магнитные поля у них выражены особенно сильно. Их магнитная система построена так, что внешняя экранировка ферромагнитными экранами (помимо того, что сами экраны насыщаются и теряют защитные свойства) может нанести ущерб работе двигателя. Слишком близко расположенный экран у двигателей этой группы способен забирать в себя недопустимую долю рабочего магнитного потока, из-за чего уменьшается э. д. с. электродвигателя, ухудшается к. п. д. и может нарушиться стабилизация скорости. Ввиду этого магнитостатические экраны электродвигателей типов 4ДКС-8, ДКС-16 и других электрических машин первой группы необходимо удалять от корпуса не менее чем на 3—4 *мм.*

Магнитные системы электродвигателей второй и третьей групп таковы, что ферромагнитные экраны не уменьшают рабочий магнитный поток и не наносят вреда электродвигателям. Кроме того, внешнее магнитное поле у них значительно слабее и вероятность насыщения экрана невелика. Все это позволяет располагать магнитостатические экраны у электродвигателей второй и третьей групп почти вплотную к корпусу.

Для защиты от электрических низкочастотных помех и радиопомех применяется электростатическая экранировка. В качестве электростатических экранов могут служить любые замкнутые металлические оболочки независимо от толщины и материала. Важно, чтобы оболочка была электропроводной и имела надежное заземление. По технологическим соображениям электростатические экраны чаще всего изготовляются из алюминия и меди.

Электростатическое экранирование заключается в замыкании электрического поля на поверхности металлического экрана и отвода накапливающихся электрических зарядов в землю. С этой точки зрения магнитостатические и электромагнитные экраны (как и всякая замкнутая металлическая оболочка) собирают на своей поверхности электрические заряды и, если они заземлены, представляют собой хороший электростатический экран.

В отличие от магнитной защиты, где для локализации магнитных полей достаточно поместить машину в замкнутый экран, для электрической защиты нельзя обойтись одним экраном, так как всякий проводник, выходящий за пределы экрана, играет роль «антенны», излучающей помехи.

Надежная защита от электрических помех и радиопомех предусматривает электростатическую экранировку всех элементов, связанных с электродвигателем: монтажных проводников, транзисторов регулятора скорости вращения, выключателя и т. д. В целях защиты от помех транзисторные схемы, относящиеся к двигателю, выполняются отдельным блоком и целиком заключаются в экран, источники питания помещаются в металлический бокс, все соединительные проводники двигателя делаются экранированным проводом. Экраны и оплетка проводов тщательно заземляются. Место присоединения заземляющих шин подбирается экспериментальным путем по минимуму помех. Надежность соединения шин с экранами играет большую роль, так как от переходного сопротивления пайки в значительной степени зависит эффект экранировки, а ненадежный контакт в заземлении сам может послужить причиной появления помех.

Очень важно, чтобы интенсивные электрические помехи и радиопомехи подавлялись вблизи места их возникновения и не могли распространяться по проводам за пределы электростатических экранов. Это достигается включением в цепь машины электрических защитных фильтров. Фильтры делятся на низкочастотные и высокочастотные (для подавления радиопомех).

Простейший низкочастотный защитный фильтр, который встречается в магнитофонах, состоит из резистора с небольшим сопротивлением (3—5 *ом*) и конденсатора емкостью от 500 до 2 000 *мкф*. Резистор включается последовательно с электродвигателем в цепь питания, а конденсатор — параллельно за резистором, ближе к входным зажимам. Эффективность защитного действия такого фильтра может быть повышена, если вместо резистора, имеющего активное сопротивление, включить низкочастотный дроссель.

В том случае, когда электродвигатель и усилители питаются от одного общего источника энергии, защитное действие такого простейшего фильтра может оказаться недостаточным, особенно на самых низких частотах. Тогда прибегают к помощи многозвенных или транзисторных фильтров.

На рис. 45,*а* представлен транзисторный защитный фильтр с разделительным транзистором, служащим для подавления низкочастотных пульсаций напряжения. Он состоит из транзистора T_1, конденсатора C_1 и резистора R_1. Чем ниже ожидаемая частота помех, тем больше должна быть емкость конденсатора C_1. Обычно она выбирается в пределах от 50 до 100 *мкф;* емкость конденсатора C_2 берется равной 5—10 *мкф*, а сопротивление R_1 — в соответствии с типом транзистора (например, для транзистора типа П201 R_1 выбирается около 1 *ком*).

Низкочастотные фильтры не гарантируют защиты от радиопомех и должны дополняться высокочастотными фильтрами, которые составляются из высокочастотных дросселей и специальных проходных конденсаторов.

На рис. 45,*б* дана схема комбинированного высокочастотного защитного фильтра, широко применяемого в магнитофонах с автономным питанием. Конденсаторы C_2 и C_3 — проходные. Емкость

проходных конденсаторов C_2 и C_3 около 220 *пф*; емкость C_4 от 10 до 20 *мкф* и C_1 2 000 *пф*. Дроссели индуктивностью несколько микрогенри обычно наматываются из проволоки диаметром 0,2—0,3 *мм* в один слой на каркасе резистора типа ВС.

В последнее время в качестве высокочастотных дросселей стали применяться ферритовые бусинки с одним или несколькими отверстиями. Собственно бусинка служит сердечником высокочастотного дросселя, а обмотку образует монтажный провод, один—три витка которого пропускаются сквозь отверстия бусинки. Ферритовые бусинки помещаются как можно ближе к месту выхода проводников из корпуса электродвигателя. Проходные конденсаторы большей частью укрепляются прямо на корпусе электродвигателя.

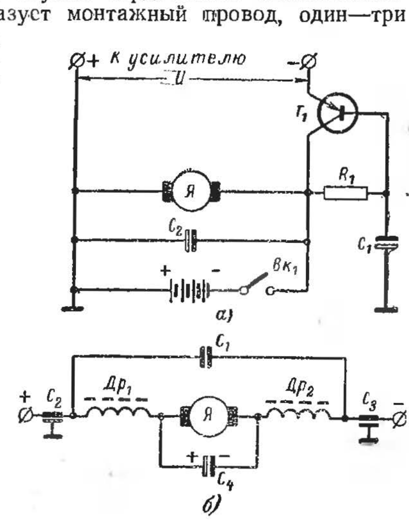


Рис. 45. Защитные фильтры.
а — низкочастотный; *б* — высокочастотный.

В целях подавления помех как можно ближе к месту их возникновения в якорях некоторых двигателей между коллекторными пластинами впаиваются варисторы. Варисторы представляют собой полупроводниковые элементы, сопротивление которых при всплесках приложенного к ним напряжения резко падает, ограничивая тем самым перенапряжения между пластинами и снижая искрение на коллекторе.

Выбор средств защиты от помех определяется многими факторами, которые трудно с достаточной степенью точности учесть заранее. Влияние помех зависит от чувствительности усилителей, полосы пропускаемых частот и других факторов. Например, в магнитофонах, предназначенных для высококачественного воспроизведения звука, защититься от помех намного труднее, нежели в магнитофонах, рассчитанных на узкую полосу пропускаемых частот или предназначенных исключительно для записи. Вследствие этого средства защиты подбирают экспериментальным путем на стадии макетирования. В макетных образцах магнитофонов определяют, какие помехи преобладают — магнитные, электрические или радиопомехи, каким путем они проникают в звукозаписывающий тракт, какие из элементов магнитофона наиболее подвержены действию помех и т. д. Затем, руководствуясь результатами эксперимента, выбирают наиболее простой, но достаточно эффективный способ защиты. При этом обязательно учитывают то, что по мере наработки, помехи коллекторных машин могут возрасти.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Электродвигатели малой мощности (микродвигатели) требуют бережного и аккуратного обращения. Перегрузки по току, включение на повышенное напряжение, подсоединение регулятора без соответствующей защиты контактов и т. п. приводят к нарушению регулировки и порче двигателей.

Эксплуатация микродвигателей имеет свою специфику, которая находит отражение в измерениях, регулировке и профилактике.

ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение скорости вращения. Для определения скорости вращения электродвигателей малой мощности пользуются приборами, подключение которых не отражается на режиме работы электродвигателя, или прибегают к косвенным способам измерений, основанным на применении различных датчиков, выдающих сигналы с частотой, пропорциональной скорости вращения, которая затем измеряется с большой точностью и пересчитывается в скорость, выраженную в оборотах в минуту.

Наибольшее распространение благодаря своей простоте и удобству получил стробоскопический способ измерения скорости. Главное его преимущество в высокой точности и в том, что при этом способе измерения не требуется никакой механической или электрической связи измерительного устройства с электродвигателем. Точность измерений по этому способу определяется стабильностью работы генератора импульсов измерительного прибора. Способ основан на использовании стробоскопического эффекта, который заключается в том, что при освещении вращающихся деталей мигающим светом, если частота вспышек светильника равна или кратна частоте вращения (т. е. пропорциональна скорости), детали кажутся наблюдателю неподвижными. Измерив частоту вспышек, соответствующую неподвижному изображению, нетрудно подсчитать скорость вращения:

$$n=60f, \tag{28}$$

где n — скорость вращения, *об/мин*; f — частота вспышек, *гц*.

Для измерения скорости вращения стробоскопическим способом применяются строботахометры. Строботахометр (рис. 46) состоит из генератора импульсов *1* и газосветной лампы — строботрона *2*. Частота импульсов от генератора может изменяться поворотом ручки настройки *3*, которая связана со стрелкой, показывающей на шкале *4*, проградуированной в оборотах в минуту, скорость вращения, соответствующую установленной частоте вспышек строботрона. При измерениях свет от строботрона направляют на вращающуюся деталь и регулируют частоту вспышек до тех пор, пока изображение детали не остановится и она не станет казаться наблюдателю неподвижной.

Несмотря на простоту определения скорости стробоскопическим способом, на технике эксперимента стоит остановиться более подробно, ибо даже опытные экспериментаторы часто допускают ошибки из-за несоблюдения элементарных правил измерений. Причина

ошибок кроется в том, что вращающиеся детали кажутся наблюдателю неподвижными не только при частоте вспышек, равной частоте вращения f, но и на частотах, кратных ей: $1/2f$, $2f$, $3f$ и т. д. Из всех этих частот нужно выбрать одну — «истинную частоту», соответствующую истинной скорости. Чтобы не ошибаться в выборе, необходимо придерживаться определенных правил и строго соблюдать последовательность операций. Прежде всего нужно провести подготовку к измерениям, нанести на вращающуюся деталь хорошо заметную и доступную для наблюдения и освещения стробоскопом стробоскопическую метку (точку, сектор, полоску), желательно белой краской. Размещать метку лучше всего на торцевых поверхностях деталей, придавая ей форму сектора (рис. 47,*г*). Затем, предварительно прогрев генератор прибора, можно приступить к измерениям. Начинать определение скорости вращения нужно с частоты вспышек, заведомо более высокой: в 5—10, минимум 2 раза выше ожидаемой истинной частоты. Иными словами, правило заключается в том, что всегда нужно «идти сверху вниз», обязательно зафиксировав в процессе измерения так называемое двойное изображение метки (рис. 47,*в*). При освещении стробоскопом вращающейся стробоскопической метки сначала будут появляться множественные изображения: учетверенное, утроенное, удво-

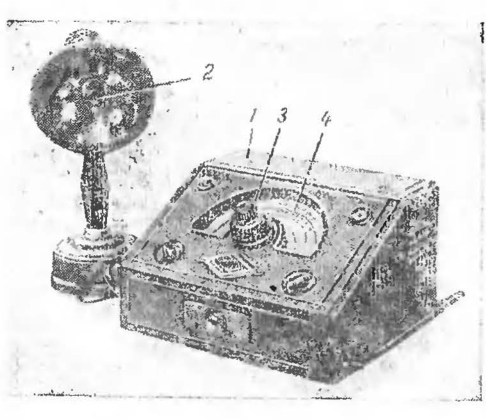


Рис. 46. Стробоскоп типа СТ.

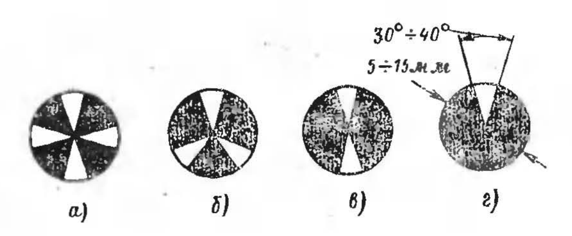


Рис. 47. Стробоскопическая метка при освещении мигающим светом.

енное (рис. 47,*а, б* и *в*), затем последует первое единичное изображение (рис. 47,*г*) — это и есть то изображение, которое соответствует истинной частоте вращения и истинной скорости. Если продолжать уменьшать частоту вспышек, можно получить еще ряд еди-

ничных изображений, но это уже будут изображения, соответствующие кратным частотам.

В случае отсутствия специального стробтахометра его можно заменить неоновой лампой, которая питается от генератора звуковой частоты ЗГ. Схема включения неоновой лампы показана на рис. 48. Сама по себе неоновая лампа, если ее питать синусоидальным напряжением генератора, не дает кратковременных вспышек, четко отделенных друг от друга паузой, как у стробoтрона, и неподвижное изображение стробоскопической метки получается размытым, что осложняет работу. Поэтому ее подключают последовательно с дросселем насыщения *Др* и диодом *Д*, которые придают сильно заостренную форму кривой напряжения, подводимого к лампе. Частота вспышек измеряется частотомером *ИЧ* и пересчитывается в скорость, выраженную в оборотах в минуту, по формуле (28). Точность измерения определяется погрешностью частотомера и в случае применения декатронного счетчика может быть очень высокой.

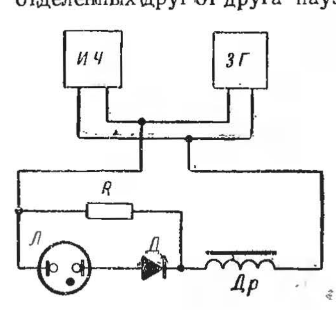


Рис. 48. Схема включения неоновой лампы для измерения скорости вращения стробоскопическим способом.

Еще один простой способ определения скорости вращения двигателя в магнитофоне заключается в следующем: на магнитофон устанавливается отрезок ленты определенной длины и с помощью секундомера измеряется время его прохождения мимо головок. Зная номинальную скорость движения ленты и время прохождения отрезка, по формуле (29) можно подсчитать отклонение скорости движения ленты от номинала и соответственно отклонение скорости вращения двигателя:

$$\Delta n = \left(\frac{S}{tV_{\text{ном}}} - 1 \right) \cdot 100, \tag{29}$$

где Δn — величина отклонения скорости вращения, %; S — длина отмеренного отрезка, *м*; $V_{\text{ном}}$ — номинальная скорость движения ленты, *м/сек*; t — время прохождения ленты, *сек*.

Измерение э. д. с. Основным параметром, характеризующим состояние электродвигателя, является его э. д. с., т. е. то максимальное напряжение, которое можно получить на зажимах машины, когда она работает вхолостую в режиме генератора. Для каждого типа электродвигателя устанавливается вполне определенная, ограниченная относительно узким допуском э. д. с. Сравнивая величину э. д. с., полученную из опыта, с установленной для данного типа электродвигателя, можно судить о состоянии намагничения магнитов, правильности установки щеток на нейтраль, исправности обмотки, коллектора и щеток.

При определении э. д. с. двигатель вращают с номинальной скоростью от постороннего привода. Милливольтметр подключают к щеткам коллектора. Так как э. д. с. зависит от скорости, в момент ее измерения скорость вращения испытуемого двигателя (генератора) обязательно контролируется стробтахометром или дру-

гим доступным способом с точностью не ниже ±2%. Собственное потребление милливольтметра должно быть небольшим, так как прибор может нагрузить электродвигатель (генератор) и вызвать заметное падение напряжения в якоре двигателя и на переходном контакте между щетками и коллектором. Нагрузка от прибора уменьшает измеряемое напряжение.

Если электродвигатель имеет регулятор, контакты которого находятся в разрыве обмотки якоря, измерение напряжения (э. д. с.) в режиме генератора нельзя производить при скорости, равной или выше номинальной, так как на этой скорости контакты регулятора разомкнутся и разорвут цепь якоря. В этом случае измерение нужно вести на скорости ниже номинальной, а величину э. д. с., соответствующую номинальной скорости, определять расчетным путем по формуле

$$E_{\text{ном}} = E_{\text{изм}} \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{изм}}}, \qquad (3)$$

где $E_{\text{ном}}$ — э. д. с. при номинальной скорости вращения; $E_{\text{изм}}$ — э. д. с., полученная при пониженной скорости; $n_{\text{ном}}$ — номинальная скорость вращения; $n_{\text{изм}}$ — скорость, при которой измерена э. д. с.

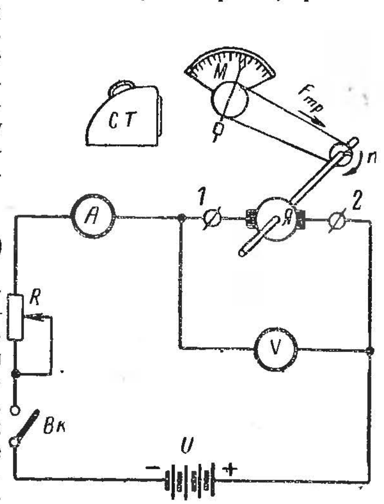


Рис. 49. Схема стенда для испытания электродвигателей малой мощности.

Проверка магнитостатических экранов. Любое ферромагнитное тело, в том числе экран, при поднесении к корпусу электродвигателя первой группы вызывает увеличение магнитных потоков рассеяния. В результате уменьшается рабочий магнитный поток и падает э. д. с. Относительное снижение э. д. с. может служить критерием для оценки ущерба, который наносит экран рабочему магнитному потоку двигателя. Э. д. с. измеряется дважды: когда двигатель находится в экране и без экрана. Если снижение э. д. с. «в экране» превышает 5—10%, экран считается непригодным. Его заменяют экраном большего размера. Для электродвигателей остальных трех групп размер экрана не влияет на их работу, так как ферромагнитные тела, находящиеся вблизи корпуса, не уменьшают их рабочего магнитного потока.

Снятие рабочих характеристик $[P_2,\ P_1,\ \eta,\ n=f(M)]$ производится на испытательном стенде. Схема стенда представлена на рис. 49. В состав стенда входят миллиамперметр *A*, милливольтметр *V*, реостат *R*, строботахометр *CT*, источник питания (аккумулятор) *U*, выключатель *Вк* и набор моментомеров *M* на разные пределы измерений. Общий вид одного из них для испытания двигателей мощностью от 0,1 до 3—5 *вт* показан на рис. 50. Он представляет собой маятниковый ленточный тормоз, состоящий из основания с зажимами для укрепления электродвигателя *1*, маятника *2* со шкивом, стрелкой и передвижным грузом, шкалы с делениями *3*

и устройства с резьбой *4* для плавного перемещения всей подвижной части моментомера.

Нить охватывает два шкива: измерительный *5* на валу электродвигателя и шкив моментомера *7*. Со шкивом моментомера нить связана жестко в точке *a*. По измерительному шкиву двигателя нить проскальзывает, создавая за счет силы трения $F_{\text{тр}}$ нагрузку на валу. Вращением маховичка с винтовой нарезкой *4* вся подвижная часть моментомера вместе со шкалой и шкивом перемещается, изменяя натяжение нити и соответственно силу трения на ободе

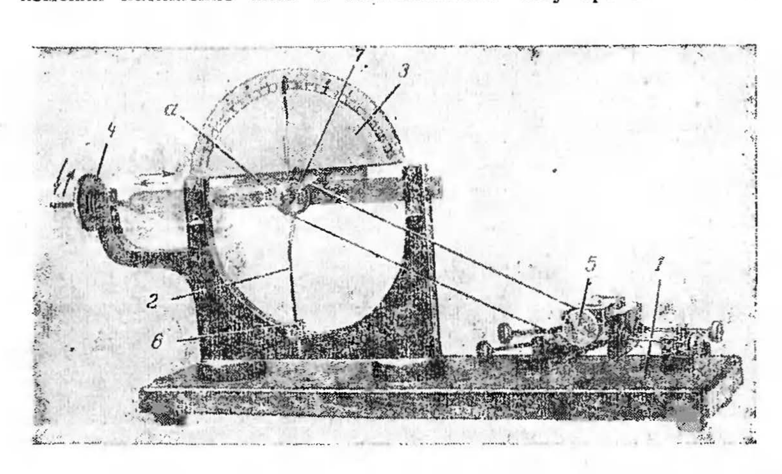


Рис. 50. Моментомер.

измерительного шкива. При этом стрелка моментомера отклоняется и показывает на шкале силу натяжения нити, которая в точности равна силе трения. Определив таким образом силу трения в граммах, по формуле (4) нетрудно рассчитать момент нагрузки на валу электродвигателя. Чтобы не делать каждый раз пересчета, шкала моментомера обычно градуируется прямо в единицах момента нагрузки (*Г·см*). Для градуировки на шкиве моментомера закрепляется нитка с градуировочным грузом *P*. Затем перемещением вдоль стрелки передвижного груза моментомера *6* выводят стрелку на какое-либо удобное для работы целое число делений шкалы и по формуле (31) определяют цену деления (*Г·см*):

$$Ц = \frac{P}{k} \cdot \frac{D_{\text{шк}}}{2}, \qquad (31)$$

где $Ц$ — цена одного деления на шкале моментомера, *Г·см*; P — вес градуировочного груза, *Г*; $D_{\text{шк}}$ — диаметр измерительного шкива, *см* (на двигателе); k — число делений, на которое отклонилась стрелка под действием градуировочного груза.

При снятии характеристик, изменяя натяжение нити, регулируют нагрузку двигателя и записывают по точкам показания мо-

ментомера, миллиамперметра и тахометра. Затем по формулам, приведенным в гл. 1, рассчитывают мощность на валу, потребляемую мощность и к. п. д. Полученные данные позволяют вычертить характеристики (см. рис. 3). Во избежание непредвиденных осложнений рекомендуется пользоваться химическими источниками питания — аккумуляторами, которые на время испытаний обязательно отключаются от зарядных устройств. Измерительные приборы нужно брать класса 0,5—1. При этом следует учитывать, что приходится иметь дело с измерением весьма малых величин и в ряде случаев потребление измерительных приборов может внести заметную погрешность в результаты имерений. Чтобы ее исключить, в показания миллиамперметра вводится поправка. Величина поправки для каждой ступени напряжения определяется по миллиамперметру путем размыкания цепи в точках *1, 2* (см. рис. 49). Поправка вычитается из показаний миллиамперметра.

Измерительный шкив делается по возможности легким, с минимальным моментом инерции. В нем протачивается канавка прямоугольной формы. На торцевую поверхность шкива наносится стробоскопическая метка.

Определение нагрузки от механизма. В практических работах с магнитофонами часто возникает необходимость определить нагрузку: момент и мощность, потребляемые отдельными узлами или целиком механизмом. Это можно сделать по типовым рабочим характеристикам, как показано в гл. 1, измерив прирост тока электродвигателя при подключении в действие того или иного узла или всего механизма, однако точность определения будет невысока, так как реальные характеристики электродвигателей имеют разброс.

Точность определения может быть повышена, если известны характеристики данного образца электродвигателя или, еще лучше, если произвести измерение не по рабочим характеристикам, снятым заранее, а в конкретных условиях методом «перекидки», нагружая электродвигатель попеременно то механизмом магнитофона, то моментомером. В большинстве случаев такую перекидку удается осуществить, не извлекая электродвигатель из механизма, за счет удлинения нити моментомера.

Измерение производится в следующем порядке:

1. По миллиамперметру, включенному в цепь питания электродвигателя, снимаются и записываются токи, соответствующие интересующим нагрузкам.

2. На шкив электродвигателя вместо ремешка магнитофона накидывается удлиненная нить моментомера (при этом следят, чтобы она не терлась о стенки экрана и другие детали).

3. Ориентируясь по записанным токам, нагружают электродвигатель моментомером и фиксируют величины нагрузок в делениях шкалы моментомера.

4. Пересчитывают записанные деления шкалы в момент нагрузки ($\Gamma \cdot см$) и по формулам гл. 1 рассчитывают мощность.

Измерение давления щеток и торцевых скользящих контактов, а также давления разрывных контактов регулятора производится с помощью пружинных динамометров. Величина давления фиксируется в момент отрыва щетки от поверхности коллектора или разрыва контактов. Иногда для повышения точности измерения в цепь разрываемых контактов включается лампочка и момент отрыва определяется с ее помощью.

ПРОФИЛАКТИКА

Для проведения профилактики, демонтажа, разборки и сборки микромашин требуются слесарный инструмент, лупа, съемники и другие приспособления для работы с точными механизмами, а также различные материалы (хлопчатобумажная безворсная ткань, бензин, ацетон, спирт, шкурка и др.). Кроме того, полезно иметь под руками пробник, универсальный прибор, позволяющий измерять напряжение и ток, и надежный источник питания.

Разборка. Прежде всего необходимо обратить внимание на то, что разборка микродвигателей требует некоторого навыка. Разборка и сборка, произведенные лицами, не имеющими опыта в обращении с точными механизмами, с помощью подручного инструмента, очень часто кончаются нарушением нормальной работы электродвигателя.

Микромашины чрезвычайно чувствительны к загрязнению пылью: продукты износа щеток, проникая в подшипники и регулятор, нарушают нормальную работу электродвигателя. Сильные постоянные магниты электродвигателя могут притягивать мелкие стальные тела (винты, шайбы, стружку и т. п.), которые, попадая внутрь, выводят электродвигатель из строя.

Выше упоминалось, что среди электродвигателей имеются разборные и неразборные (завальцованные, запрессованные в пластмассу). Большинство отечественных электродвигателей по конструкции разборные, но это еще не значит, что любой из них можно разбирать, не размагнитив при этом магниты. Дело в том, что многие электродвигатели разборные по конструкции намагничены в собранном виде и вследствие выемки якоря или магнита частично размагничиваются. После каждой разборки такие электродвигатели требуют повторного намагничивания и регулировки. Поэтому, прежде чем решиться на полную разборку двигателя, нужно выяснить, к какой группе по нашей классификации (см. гл. 2) он относится.

Электродвигатели второй группы можно разбирать, не опасаясь размагнитить. В электродвигателях третьей и четвертой групп извлекать магнит не рекомендуется — они намагничиваются в собранном виде. Если электродвигатель относится к первой группе, нужно дополнительно узнать, как он был намагничен. Часть электродвигателей этой группы, как, например, 4ДКС-8 и ДКС-8, на заводах продолжают намагничивать в собранном виде, а новые двигатели, такие, как ДКС-16, намагничивают в разобранном виде.

Приступая к разборке, нужно проследить за чистотой рабочего места и инструмента.

До начала разборки полезно сделать следующее:

1. Заметить положение сопрягаемых узлов (подшипниковых щитов, крышек и т. д.).

2. Освободить с помощью ацетона винты, законтренные от самоотвинчивания нитроэмалью.

3. Вынуть или приподнять (на шпильки) щетки, чтобы они не зацепились за маслоотбойную шайбу во время извлечения якоря или съема подшипникового щита.

Снимая щит со щетками, нужно следить за тем, чтобы щетки не коснулись смазанных поверхностей вала или шарикоподшипника. Масло быстро впитывается щетками и впоследствии засаливает коллектор.

Внутренняя поверхность корпуса, подшипниковых щитов, щеткодержателей и других деталей в электродвигателях, бывших длительное время в эксплуатации, обильно покрывается щеточной пылью. Разбирая такой электродвигатель нужно постараться не засорить подшипники и регулятор. Особую аккуратность нужно соблюдать в обращении с шарикоподшипниками высокого класса точности. Если нужно снять их с вала, то ни в коем случае нельзя применять недопустимые усилия. Для съема и посадки подшипников применяются специальные приспособления, предохраняющие их от повреждений.

При разборке электродвигателей с открытыми центробежными регуляторами нужно соблюдать осторожность и не деформировать возвратные пружины — их деформация приводит к нарушению стабилизации скорости.

Перед сборкой все детали и узлы должны быть продуты, прочищены и промыты. Особенно тщательно промываются шейки валов подшипников скольжения и шарикоподшипники. Маслоотбойные шайбы обезжириваются бензином, ацетоном. Пополняется смазка подшипников.

После сборки электродвигатель осматривают и проверяют легкость хода без щеток. Затем опускают (вставляют) щетки. Винты, подлежащие контровке, закрашивают нитроэмалью и закрывают крышки. В заключение полезно еще раз предостеречь от неуместного применения излишних усилий, которые могут повлечь за собой поломку машины.

Притирка щеток. Качество притертости щеток определяется осмотром рабочей поверхности невооруженным глазом или через лупу. Притертая поверхность имеет характерный блеск, ее легко отличить от неприработанной или обгоревшей части. Минимальная площадь притертой части должна составлять 60—80% всей рабочей поверхности.

Притирка делается в два приема: сначала грубая — предварительная, потом тонкая — окончательная. На заводах предварительную притирку делают в специальных приспособлениях. В условиях эксплуатации предварительная притирка делается мелкозернистой шкуркой. Шкурку разрезают на полоски по ширине коллектора и соскабливают с нее частично бумажную подложку с таким расчетом, чтобы шкурка обратной стороной могла свободно облегать коллектор. Подготовленную таким образом шкурку заводят под щетку и несколько раз протягивают в направлении вращения; при этом следят, чтобы шкурка плотно прилегала к поверхности коллектора. Набегающий край щетки рекомендуется запилить надфилем так, чтобы ее касание с коллектором происходило на расстоянии 0,2—0,3 *мм* от края щетки.

Окончательная притирка заключается в обкатке на холостом ходу. Электродвигатель без регулятора включается на несколько часов на пониженное напряжение так, чтобы его скорость не превышала номинальной и на коллекторе не возникало повышенного искрения. Операция притирки щеток заканчивается продувкой двигателя и прочисткой коллектора.

Чистка коллектора и колец. Состояние коллектора и колец определяется осмотром невооруженным глазом или через лупу. На поверхности коллектора (колец) допускается след от работы щеток в виде дорожки темного цвета. Засаливание пазов, глубокие царапины, различимые невооруженным глазом, и черный нагар на

рабочей поверхности считаются недопустимыми. О загрязнении и износе коллектора свидетельствует также повышенное искрение.

Чистка коллектора и колец заключается в продувке сжатым воздухом и протирке их безворсной тканью, смоченной сначала в бензине, а затем в спирте. На время чистки щетки отводятся и не опускаются до полного высыхания коллектора и колец. При промывке необходимо следить за тем, чтобы спирт не попал в подшипники. Если щеточная пыль в пазах коллектора уплотнена и смыть ее не удается, пазы прочищают стальным крючком. Действовать крючком нужно осторожно в направлении от петушков к краю коллектора; при этом полезно пользоваться лупой и следить за тем, чтобы не поцарапать рабочую поверхность коллекторных пластин.

Чистка контактов регулятора. Состояние контактов регулятора определяется путем осмотра или по показаниям приборов в процессе работы. Для осмотра электродвигатели приходится вскрывать, а некоторые типы даже разбирать. Контакты прямого включения осматривают через лупу, контакты цепей слабых токов — под микроскопом. Во время работы о состоянии контактов можно судить по показаниям миллиамперметра, включенного в цепь электродвигателя. Если контакты работают ненормально, стрелка миллиамперметра во время работы под нагрузкой совершает хаотические броски в отличие от легкого дрожания, которым сопровождается действие нормально работающих контактов. Более грубое нарушение работы контактов может быть обнаружено по хаотическим рывкам скорости вращения.

Для восстановления нормальной работы контакты подвергаются чистке. Контакты прямого включения, которые, как правило, выходят из строя в результате подгорания и эрозии, зачищаются надфилем. Их чистка заключается в механическом удалении нагара, бугорков, впадин и последующей промывке спиртом. Контакты цепей слабых токов чаще всего теряют контакт из-за загрязнения. Их чистка заключается в удалении с рабочей поверхности непроводящего налета с помощью протирки тканью, смоченной чистым спиртом. По окончании протирки смоченной тканью слаботочные контакты обязательно протираются еще раз сухой, обезжиренной в бензине замшей. Вместо замши можно использовать натуральную пробку.

Смазка подшипников. Прежде всего следует обратить внимание на то, что чрезмерная и небрежная смазка так же опасна, как и ее недостаток. Попадая на коллектор и щетки, излишки масла приводят к быстрому выходу из строя всего электродвигателя. Поэтому при смазке необходимо строго соблюдать инструкцию по смазке.

Подшипники качения, как правило, смазываются консистентными смазками типов ЦИАТИМ 201, ЦИАТИМ 221, ОКБ-122-7, подшипники скольжения — жидкими маслами типов индустриальное № 12, ОКБ-122-4, часовое МБП-12; МЦ-3 и др., названия которых указываются в инструкции по эксплуатации. Смазка подшипников качения обычно закладывается на весь срок службы и в пополнении не нуждается, но если по каким-либо причинам ее приходится менять, делать это необходимо с большой аккуратностью, соблюдая дозировку, определенную для каждого типа шарикоподшипников. Чаще всего свободный объем подшипника рекомендуется заполнять смазкой примерно на три четверти. При этом особое внимание обращается на чистоту. Шарикоподшипники промываются очищенным бензином (типа Б-70) в нескольких сосудах, после чего

просушиваются, смазываются предварительно и до сборки хранятся в герметичной таре. Смазку держат в специальной упаковке и вносят в подшипники с помощью медицинского шприца. При промывке и вообще в обращении с подшипниками ни в коем случае не пользуются ворсистыми тканями.

Подшипники скольжения, несмотря на то, что они изготовляются из пористых материалов и пропитываются маслом, нуждаются в подпитке. Масло закапывается в специальные отверстия для смазки и прямо на вылет вала около его выхода из подшипника. Делать это надо так, чтобы масло не растекалось и излишки его не попадали внутрь двигателя. Закапывание удобно производить с кончика стальной иглы-чертилки диаметром 1—1,5 *мм*.

Извлечение опилок. Нередко мелкие стальные опилки попадают внутрь электродвигателя. В процессе работы они могут переместиться в воздушный зазор и заклинить якорь. Поэтому все до единой стальные частички должны быть удалены. Удаление производится ватным тампоном. Отдельные застрявшие частицы удаляют стальной иглой (они хорошо притягиваются к острию). Для полной гарантии от появления в зазоре опилок прибегают к покрытию внутренних поверхностей машины тонким слоем лака.

РЕГУЛИРОВКА

Регулировка электродвигателей, которая заключается в настройке скорости вращения, доводке до регламентированной величины э. д. с., установке на нейтраль щеток и т. д., производится на заводе. Эти операции нередко приходится повторять во время эксплуатации и ремонта.

Настройка скорости. В электродвигателях с центробежным регулятором скорость вращения регулируется натяжением возвратных пружин регулятора, а в электродвигателях с электронным регулятором — с помощью подстроечного элемента. Настройку скорости производят при номинальных условиях. Нагрузку создают моментомером или механизмом, имеющим постоянный момент сопротивления. Если механизм обладает большой маховой массой, его развязывают от электродвигателя эластичным ремешком. Очень удобно нагружать электродвигатель с помощью легкой крыльчатки (вентилятора). Момент сопротивления крыльчатки устанавливается размером и углом разворота крыльев. Ориентиром служит потребляемый ток.

Настройка регуляторов, имеющих одну действующую пару контактов (см. рис. 30,*а, б, в* и *г*), не вызывает затруднений: увеличением натяжения возвратной пружины скорость повышается, ослаблением — снижается. Настройка регуляторов с двумя действующими парами контактов (рис. 30,*д* и 31) несколько сложнее.

Приемы настройки регуляторов с двумя парами контактов зависят от схемы включения. Регуляторы с контактами, включенными последовательно с якорем, легче настраивать поочередным натяжением пружин. Начинать настройку следует со скорости меньше номинальной. Регуляторы с контактами, включенными в разрыв обмотки якоря, наоборот, легче настраивать поочередным ослаблением пружин, приближаясь к номинальной скорости сверху. Объясняется это тем, что скорость вращения двигателя с регулятором, включенным последовательно с якорем (рис. 30,*д*), фактически определяется

парой контактов с более сильно натянутой пружиной, а скорость вращения двигателей с контактами в разрыве обмотки (рис. 31) — контактами с менее натянутой пружиной.

Чтобы обе пары контактов срабатывали одновременно, настройку регулятора с двумя действующими контактными парами (рис. 30,*д*) нужно производить в следующем порядке:

1. Включить электродвигатель на номинальное напряжение, нагрузить номинальным моментом и измерить скорость вращения.

2. Если скорость выше номинальной, ослабить натяжение пружины так, чтобы скорость стала ниже номинальной.

3. Заметить один из регулировочных винтов и постепенным натяжением его пружины довести скорость до номинальной. (Винт второй контактной пары не трогать!)

4. Законтрить отрегулированный винт и убедиться, что скорость не «ушла» (предварительно полезно несколько раз запустить электродвигатель на повышенной скорости, подключая питание прямо на якорь).

5. Снять нагрузку и включить электродвигатель на холостом ходу. Освещая строботроном метку, остановить ее изображение.

6. Не сбивая установку частоты стробoтахометра, вторым винтом постепенным натяжением пружины второй пары контактов добиться того, чтобы изображение метки стало медленно (не более 5—10 *об/мин*) двигаться в направлении вращения.

7. Законтрить второй регулировочный винт, включить электродвигатель без нагрузки и еще раз убедиться, что метка продолжает плавно перемещаться в направлении вращения.

Последовательность операций при настройке регуляторов с контактами, включенными в разрыв обмотки якоря (рис. 31), та же самая. Различие заключается лишь в том, что настройка ведется от большей скорости к меньшей, т. е. по п. 2 пружины не ослабляются, а натягиваются так, чтобы скорость стала выше номинальной. Соответственно при дальнейшей настройке идет не натяжение пружин, а постепенное их ослабление. По п. 6 добиваются такого положения, когда изображение стробоскопической метки начинает медленно двигаться в направлении, противоположном вращению.

Номинальная скорость электродвигателя (при одном и том же натяжении пружин регулятора) может изменяться в небольших пределах в зависимости от параметров схем защиты. Поэтому настройку регулятора лучше всего вести с той схемой, с которой электродвигатель будет эксплуатироваться. Большинство электродвигателей имеет запас по мощности, позволяющий, когда это требуется, устанавливать скорость выше номинальной на 5—10%.

Установка щеток на нейтраль, или, как принято говорить, установка нейтрали, производится разворотом подшипникового щита. Электродвигатель переводится на работу в режиме генератора от постороннего привода, к щеткам присоединяется вольтметр, так же как и при измерении э. д. с. Затем, плавно поворачивая щит в одну и другую стороны, по вольтметру как по индикатору находят положение, при котором получается максимальное напряжение. В этом случае щетки располагаются на нейтрали. Если электродвигатель реверсивный, щит закрепляют и делают на корпусе отметку положения нейтрали. Если электродвигатель нереверсивный, щетки сдвигают против направления вращения на небольшой угол порядка 5—10°. Сдвиг улучшает условия коммутации и способствует снижению искрения.

Регулировка э. д. с. тесно связана с намагничиванием электродвигателя и установкой нейтрали. Э. д. с. регулируется за счет частичного размагничивания магнитов возбуждения полем переменного тока. Предварительно производятся намагничивание до насыщения и установка нейтрали с поворотом щеток против хода у нереверсивных электродвигателей. Затем в режиме генератора, ориентируясь по вольтметру, размагничивают магниты до тех пор, пока э. д. с. не снизится до установленной величины.

Размагничивать магниты можно дросселем, предназначенным для размагничивания магнитофонной ленты.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

Электродвигатели 4ДКС-8, 4ДКС-8М, ДКС-8, ДКС-8М, ДКС-16, ДКМ-1 и ДКМ-1М разработаны специально для привода магнитофонов с автономным питанием от различных источников постоянного тока (рис. 51 и 52). Все перечисленные двигатели снабжены центробежными контактными регуляторами скорости вращения, рассчитанными на работу в управляющих цепях транзисторных схем.

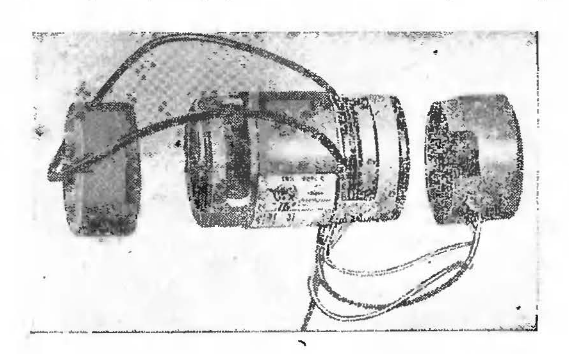


Рис. 51. Электродвигатель 4-ДКС-8.

Контакты регулятора у них выведены на статор с помощью торцевых скользящих контактов. У всех двигателей шкив расположен внутри между двумя опорами. Вылета вала нет, торцы вала заняты скользящими контактами.

Бесконечный ремешок во всех новых образцах накидывается на шкив снаружи через прорезь в корпусе. В старых вариантах (4ДКС-8 и ДКС-8), чтобы снять бесконечный ремешок, необходимо вынуть подшипниковый щит со стороны регулятора. У всех элек-

Таблица 1

Параметры	Тип электродвигателя						
	4ДКС-8	4ДКС-8М	ДКС-8	ДКС-8М	ДКС-16	ДКМ-1	ДКМ-1М
Напряжение питания, *в*	16—13	14—10	15—10	12—10	13—8	12—9	12—9
Мощность на валу, *вт*	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8	0,3	0,35
Скорость вращения, *об/мин*	2 000±30	2 000±30	2 050±60	2 000±30	2 000±40	1 600±20	2 000
Направление вращения, если смотреть со стороны шкива	Левое	Левое	Правое	Правое	Левое	Правое	Правое
Габаритные размеры, *мм*	l=64,8; D=38,8	l=65,3; D=40	l=63; D=39	l=62; D=40	l=65; D=39	l=53; D=38	l=53; D=37 (без крышки)
Диаметр шкива по дну и радиус канавки, *мм*	D=18,5; r=1,5	D=18,5; r=1,5	D=18,5; r=1,5	D=17,3	D=18,5; r=1,5	D=15; ширина 5—для плоского ремня	D=12,5; ширина 5—для плоского ремня
Вес не более, *Г*	250	300	250	250	300	200	200
Смазка подшипников	ОКБ-122-7	ОКБ-122-7	ЦИАТИМ-201	ЦИАТИМ-201	ОКБ-122-7	ЦИАТИМ-201	ЦИАТИМ-201
Э. д. с. в режиме генератора при n=2 000 *об/мин*, *в*	7,8—8,0	5,8—6,2	5,3—4,9	5—7	5,2—4,8	—	Около 5
Ток холостого хода, *ма*	25—30	30—35	30—40	40	40—50	—	20—30
Максимальное значение к. п. д. (без регулятора), %	65	60	60	—	55	—	60
Марка щеток, размеры, *мм*	МГС7 2×3×3,8	М6, 2×3×3,8	(М6, 3×2×4 в старых) МГС7 3×3×10	М6, 3×3,8	МГС7И 2×3×6	М6, 2×3,2×4	М6, 2×3,2×4
Давление щеток коллектора, *Г*	12—15	12—15	12—15	12—15	10—15	10—15	10—15
Давление торцевых контактов, *Г*	8—15	8—15	8—15	8—15	10—15	10—15	10—15
Форма и материал магнитов	Скобообразные ЮНДК-24	Кольцевой ЮНДК-24	Скобообразные ЮНДК-24	Скобообразные ЮНДК-24	Кольцевой ЮНДК-24	Кольцевой ЮНДК-24	Кольцевой ЮНДК-24
Число витков секции	115	95	132—116	95	115	278	—
Обмоточный провод, марка, сечение, *мм*²	ПЭВ2, 0,17/0,21	ПЭВ1, 0,19/0,22	ПЭВ1, 0,17/0,20	ПЭВ1, 0,19/0,22	ПЭВ2, 0,2/0,24	ПЭВ1, 0,11/0,135	—
Сопротивление обмотки при 20° С, *ом*	16±1	10,5	18—15	11	5,5	—	24
Число контактных пар в регуляторе	Две	Одна	Две	Две	Одна	Одна	Одна

тродвигателей, за исключением ДКМ-1 и ДКМ-1М, шкивы рассчитаны на применение ремешка круглого профиля. Шкивы металлические (из латуни) имеют электрический контакт с валом и находятся под напряжением (вал используется в качестве токоподводящей шины для одного из торцевых контактов). Исключение составляют электродвигатели ДКС-16 и ДКМ-1М: у них шкивы из пластмассы, зато корпус электродвигателя ДКС-16 имеет электрический контакт с регулятором. Корпуса остальных электродвигателей изолированы. Крепление электродвигателей осуществляется за корпус, обычно через прокладку из мягкого пористого материала. Охват корпуса стальными скобами не допускается. Все электродвигатели на шарикоподшипниках.



Рис. 52. Электродвигатель ДКС-16.

Технические данные электродвигателей, перечисленных выше, сведены в табл. 1.

Электродвигатель ДКС9-2600 предназначен для магнитофона «Мрия». С двумя вылетами вала. Снабжен центробежным контактным регулятором скорости вращения, рассчитанным на работу в управляющих цепях транзисторных схем. Контакты регулятора выведены на статор с помощью колец и щеток куркового типа. Двигатель на подшипниках скольжения. Крепится двигатель за корпус через амортизирующие резиновые трубки.

Технические данные

Напряжение питания	9,2—6 *в*
Мощность на валу	0,2 *вт* (7,5 *Г·см*)
Скорость вращения	$2\,450^{+20}_{-50}$ *об/мин*
Направление вращения, если смотреть со стороны регулятора	Левое
Габаритные размеры	D=22 *мм*; l=65 *мм*
Вылет вала (диаметр, длина)	d=2 *мм*; l_1=10 *мм*; l_2=15 *мм*
Вес	Не более 85 *Г*
Смазка подшипников	Масло часовое
Э. д. с. в режиме генератора при n=2 600 *об/мин*	4 *в*
Ток холостого хода	Около 40 *ма*
Максимальное значение к. п. д. (без регулятора)	Около 50 %

Щетки коллектора и регулятора . . . . . . Марки СГ-1 размером 1,5×2,5×3,5 *мм*
Давление щеток . . . . Коллектора 8—10 *Г*, регулятора 10—12 *Г*
Магнит . . . . Кольцевой ЮНДК-24
Число витков секции 90
Обмоточный провод . . . . ПЭВ1 ∅ 0,14 *мм*
Сопротивление обмотки при 20° С . . . . . 14 *ом*

Электродвигатель ДРВ-0,1. Основное назначение — привод механизма батарейного проигрывателя. Снабжен центробежным контактным регулятором скорости вращения, рассчитанным на прямое включение в цепь якоря, с защитой контаков резистором. Контакты регулятора выведены на статор с помощью одного торцевого скользящего контакта и щетки, скользящей по контактному кольцу. Электродвигатель может быть применен в магнитофонах и диктофонах в вертикальном положении, а после минимальной доработки — и в произвольном положении. Подшипники скольжения самоустанавливающиеся. Крепление двигателя фланцевое.

Технические данные

Напряжение питания . . . . 10,5—6,3 *в*
Мощность на валу . . . . 0,08 *вт* (5 *Г·см*)
Скорость вращения . . . . 1 600±30 *об/мин*
Направление вращения, если смотреть со стороны вылета вала . . . . Левое
Габаритные размеры без крепежной платы . . . . 55×45×42 *мм*
Вылет вала (диаметр, длина) . . . . *d*=3 *мм*; *l*=18 *мм*

Вес . . . . Не более 185 *Г*
Смазка подшипников . . . . Турбинное масло 22П
Э. д. с. в режиме генератора при *n*=1 600 *об/мин* . . . . Около 3,5 *в*
Ток холостого хода . . . . Не более 40—50 *ма*
Максимальное значение к. п. д. (без регулятора) . . . . Около 35 %
Щетки коллектора и регулятора . . . . Марки МГ2 размером 2×3×2 *мм*
Давление щеток коллектора . . . . 10—12 *Г*
Магнит в форме параллелепипеда с полюсными наконечниками из мягкой стали. Материал магнита ЮНД-4
Число витков в секции 250
Обмоточный провод . . . . ПЭВ1 ∅ 0,12 *мм*
Сопротивление обмотки при 20° С . . . . . . 32 *ом*

Электродвигатель ДМ-0,3-3А служит для привода узла перемотки магнитофона «Орбита». Электродвигатель без регулятора скорости вращения. Рассчитан на кратковременный режим работы. Крепление фланцевое тремя винтами М3. Вылет вала с обеих сторон.

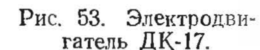
Технические данные

Напряжение питания . . . . 12 *в* (номинальная величина)
Мощность на валу . . . . 0,36 *вт* (10 *Г·см*)
Скорость вращения . . . . 3 500 *об/мин*
Направление вращения, если смотреть со стороны коллектора . . . . Левое

Режим работы . . . . ПВ $\leq$15 %, продолжительность непрерывной работы 3 *мин*
Габаритные размеры . . . . D=25 *мм*; l=40,4 *мм*
Вылет вала (диаметр, длина) . . . . d=1,9 *мм*; l_1=8,5 *мм*; $l_2 \simeq$8 *мм*
Вес . . . . Не более 75 *Г*
Щетки . . . . Марки МГ2 размером 1,5×1,5 *мм*
Магнит ЮНДК-15
Обмоточный провод . . . . ПЭВ2 ∅ 0,11/0,14 *мм*
Число витков секции . . . . 370 (наматывают на зубец)
Сопротивление обмотки при 20° С . . 3,5 *ом*

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Электродвигатель ДК-17 (рис. 53). Основное назначение — привод механизма электробритвы Б-1 «Электроника». Рассчитан на питание от одного элемента типа «Сатурн» или «Марс». Электродвигатель без регулятора. Щетки металлические с малым переходным сопротивлением. Электродвигатель пригоден для работы с мостовыми схемами стабилизации скорости и может быть использован в миниатюрных диктофонах и магнитофонах с невысокими качественными показателями. Крепление фланцевое двумя винтами М3.



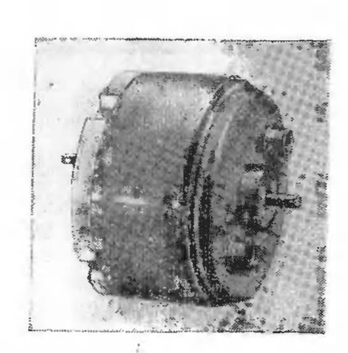


Рис. 53. Электродвигатель ДК-17.

Технические данные

Напряжение питания . . . . 1,5—1 *в*
Мощность на валу . . . . 0,3 *вт* (5 *Г·см*)
Скорость вращения . . . . Не менее 6 000 *об/мин*
Направление вращения, если смотреть со стороны вылета вала . . . . . Левое
Габаритные размеры . . . . D=35 *мм*; l=26,5 *мм*
Вылет вала (диаметр, длина) . . . . d=2 *мм*; l=5 *мм*
Вес . . . . Не более 50 *Г*
Смазка подшипников . . . . Масло часовое (ГОСТ 7935-56)
Э. д. с. в режиме генератора при n=6 000 *об/мин* . . . . 1±0,1 *в*
Максимальное значение к. п. д. . . . Около 50 %
Щетки в виде упругой пружинящей пластинки с раздвоенным концом. Толщина пластинки 0,15 *мм*; ширина 2 *мм*; материал—сплав серебра с медью, никелем, цинком

Магнит кольцевой из феррита бария 1,5 БИ
Обмоточный провод . . . . ПЭВ2 ⌀ 0,35/0,41
Число витков в секции . . . . 75 (наматывают на зубец)
Сопротивление обмотки при 20° С . . Около 0,35 *ом*

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ

Электродвигатели 1ДПРС и 3ДПРС (рис. 54) предназначены для привода высококачественных портативных магнитофонов с автономным питанием от различных источников постоянного тока.

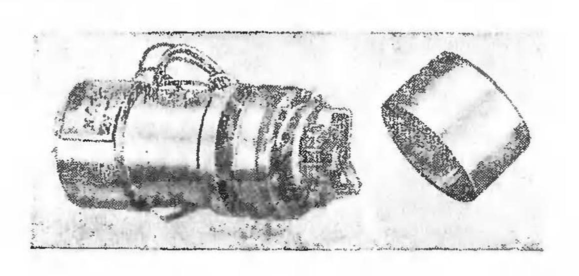


Рис. 54. Электродвигатель 1ДПРС.

Снабжены центробежным контактным регулятором скорости вращения, рассчитанным на работу в управляющих цепях транзисторных схем. Контакты регулятора выведены на статор с помощью торцевых скользящих контактов, один из которых соединен электрически с корпусом электродвигателя. Корпус находится под напряжением. Крепление осуществляется за корпус через прокладку из материала с хорошими изоляционными свойствами. В качестве шкива используется канавка на пластмассовом стакане якоря. Канавка по форме рассчитана на применеие ремешка круглого профиля. Бесконечный ремешок накидывается на шкив снаружи через прорезь в корпусе. Электродвигатели на шарикоподшипниках. Применяются в магнитофоне «Весна» и механизме «Дельфин». Технические данные двигателей 1ДПРС и 3ДПРС приведены в табл. 2.

Электродвигатель МД-0,35-2000-9 предназначен для диктофонов и миниатюрных магнитофонов. Используется в магнитофоне «Десна». Электродвигатель снабжен съемным центробежным регулятором скорости вращения. Контакты регулятора рассчитаны на работу в управляющих цепях транзисторных схем и выведены на статор с помощью торцевых скользящих контактов. Шкив рассчитан на применение ремешка треугольного или квадратного профиля. Электродвигатель на шарикоподшипниках. В наименовании индексы и цифры означают: *Д* — двигатель; *М* — магнитофонный; 0,35 — мощность на валу в ваттах; 2 000 — скорость; 9 — напряжение питания.

Технические данные

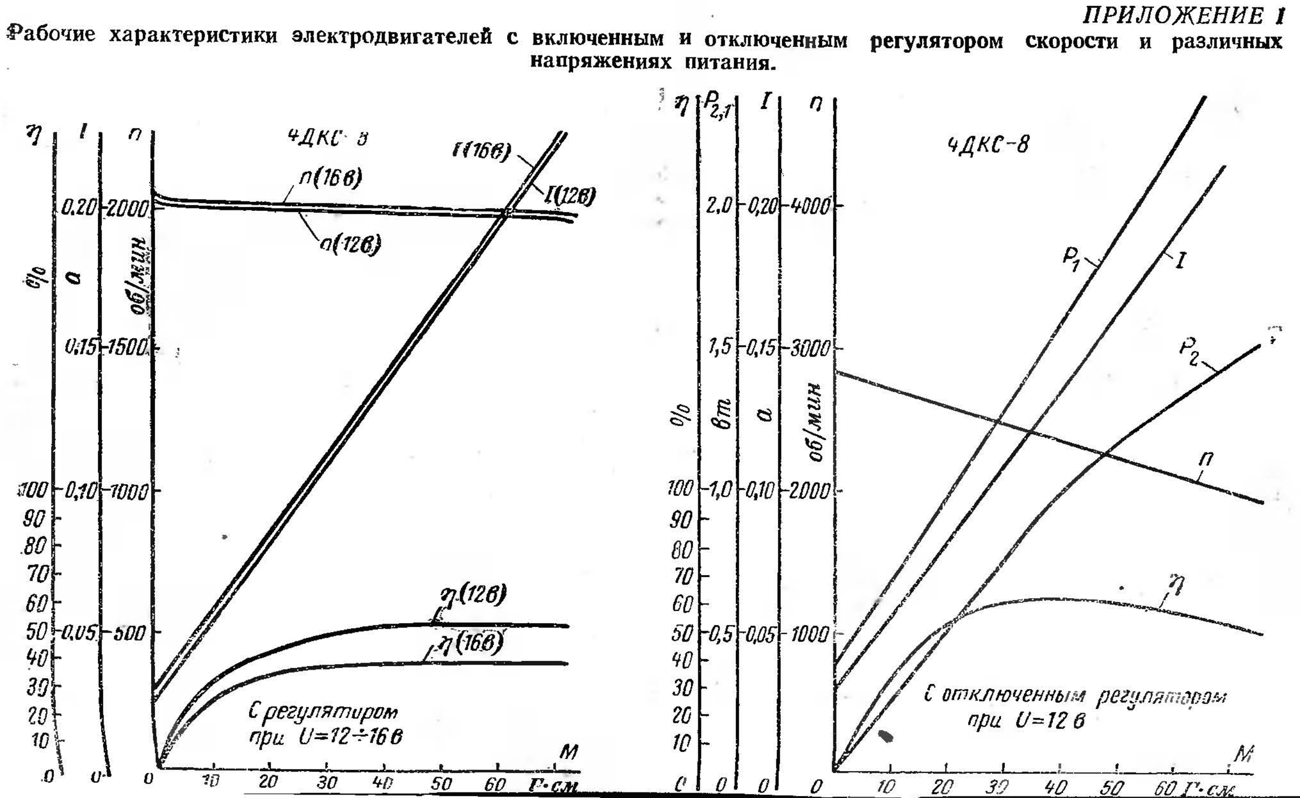
Напряжение питания . . . . 9,6—6,6 *в*
Мощность на валу . . . . 0,35 *вт*
Скорость вращения . . . . 2 000±40 *об/мин*

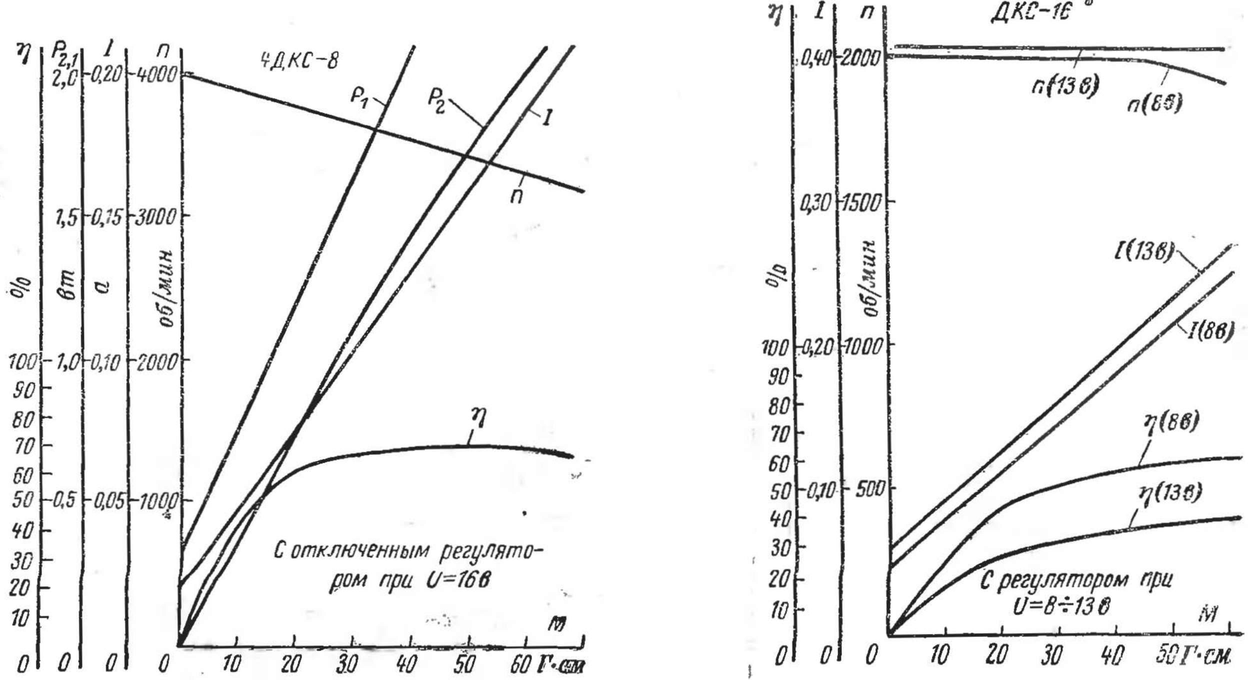
Направление вращения, если смотреть со стороны шкива	Правое
Габаритные размеры, *мм*	$D=34$; $l=38$
Смазка подшипников	ОКБ-122-7
Вес	Не более 150 *Г*
Ток холостого хода	Не более 20 *ма*
Э. д. с. в режиме генератора	$4_{-0,2}$ *в*
Максимальное значение к. п. д.	Около 70 %
Щетки	Марки СГ-1 1,5×1,5×3 *мм*
Давление щеток	8—12 *Г*
Магнит	Цилиндрический ЮНДК-24
Число витков в секции	140 (соединены в звезду)
Обмоточный провод	ПЭВ2 ⌀ 0,15 *мм*
Сопротивление обмотки при 20° С	18±2 *ом*

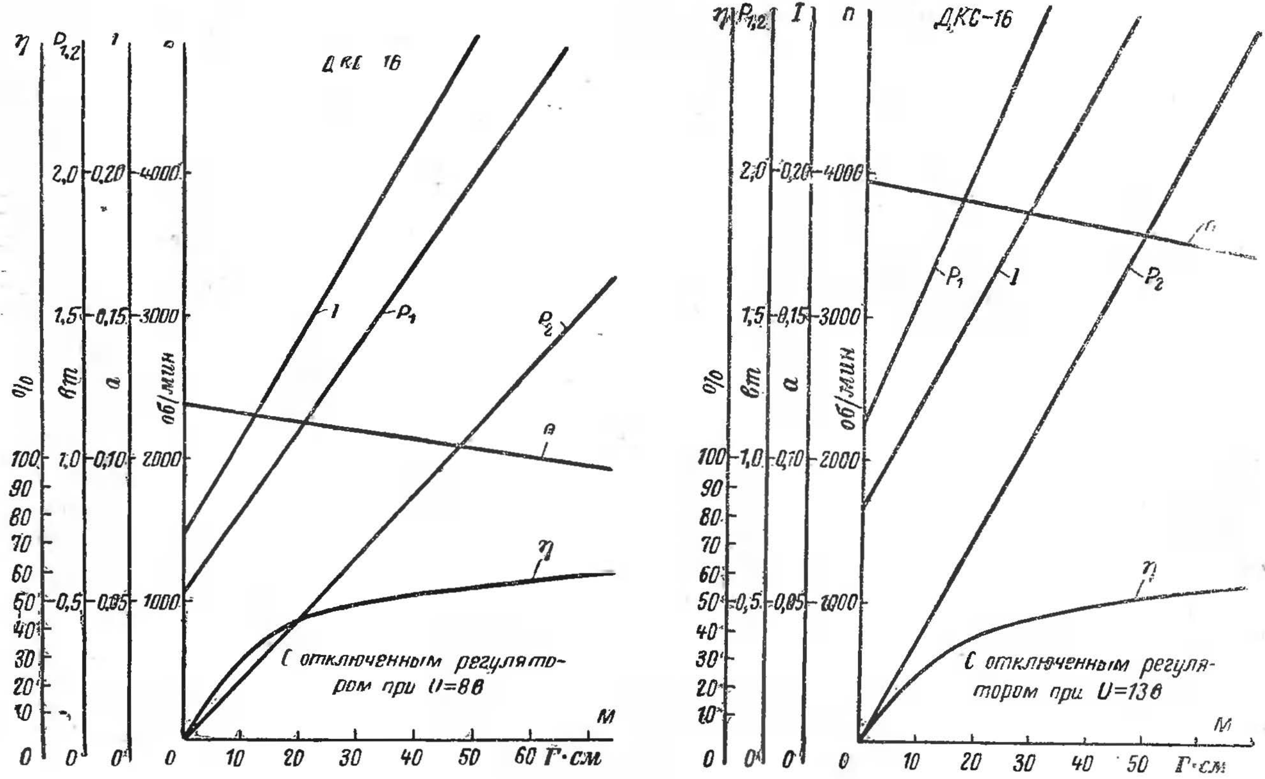
Таблица 2

Параметры	Тип электродвигателя	
	1ДПРС	3ДПРС
Напряжение питания, *в*	15—11	14—10
Мощность на валу, *вт*	0,8	0,8
Скорость вращения, *об/мин*	1 600±30	1 540±30
Направление вращения, если смотреть со стороны шкива	Левое	Правое
Габаритные размеры, *мм*	$D=36$; $l=79,7$	$D=36$; $l=73,5$
Расстояние от края корпуса до середины шкива, *мм*	27,5	16,5
Диаметр шкива по дну и радиус канавки, *мм*	$d=24$; $R=1,3$	$d=22,5$; $R=1,3$
Вес не более, *Г*	300	240
Смазка подшипников	ЦИАТИМ 221С и 221	ЦИАТИМ 221С и 221
Э. д. с. в режиме генератора, *в*	При $n=1\,600$ *об/мин* около 6,7	При $n=1\,540$ *об/мин* около 5,5
Ток холостого хода, *ма*	Около 25	Около 30
Максимальное значение к. п. д., % (без регулятора)	Около 75	Около 75
Марка щеток, размеры, *мм*	МГС7, 3×3×2	СГ-3, 3×3×2
Давление щеток коллектора, *Г*	12—16	12—16
Давление торцевых контактов, *Г*	8—15	8—15
Число витков секции	105	95
Обмоточный провод, *мм*	ПЭТВ, 0,16/0,20	ПЭТВ, 0,17/0,21
Сопротивление обмотки при 20° С, *ом*	19±10 %	13±10 %
Форма и материал магнитов	Цилиндрический ЮНДК-24	

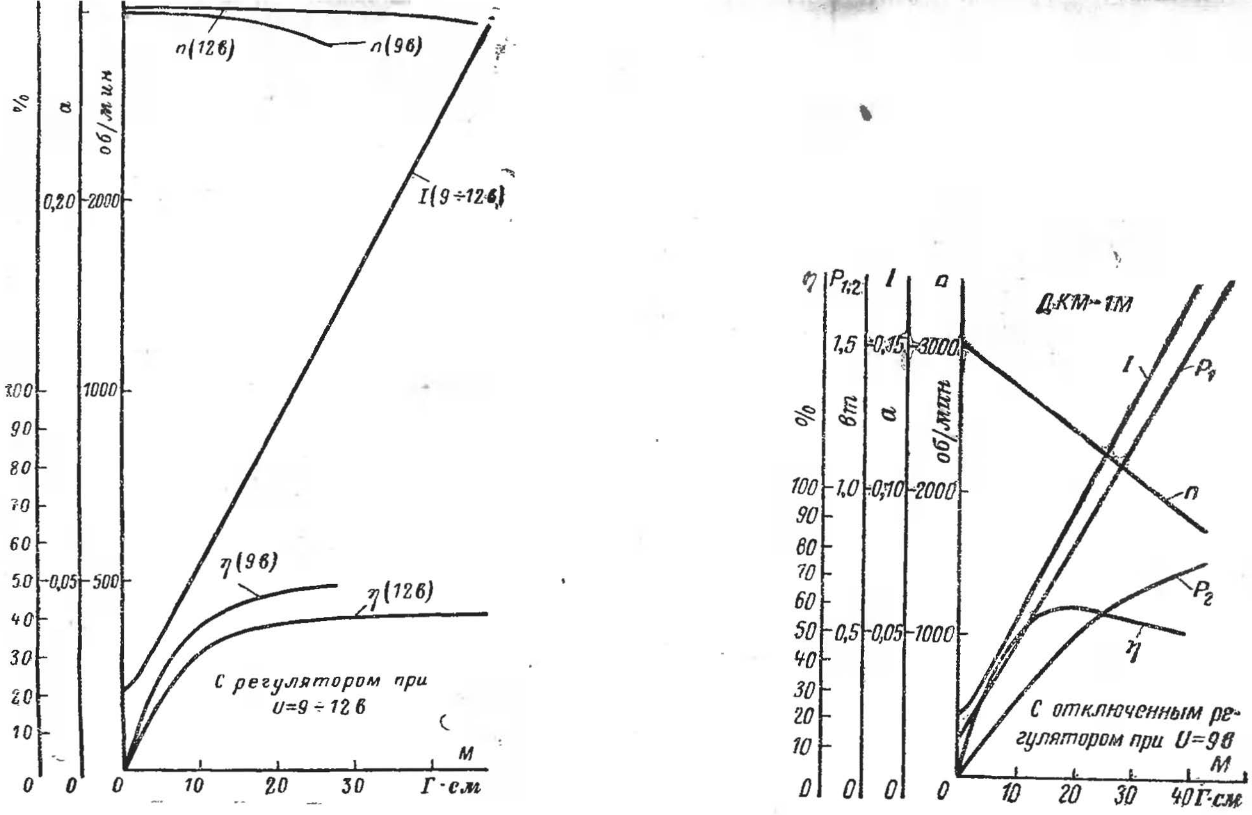
Рабочие характеристики электродвигателей с включенным и отключенным регулятором скорости и различных напряжениях питания.



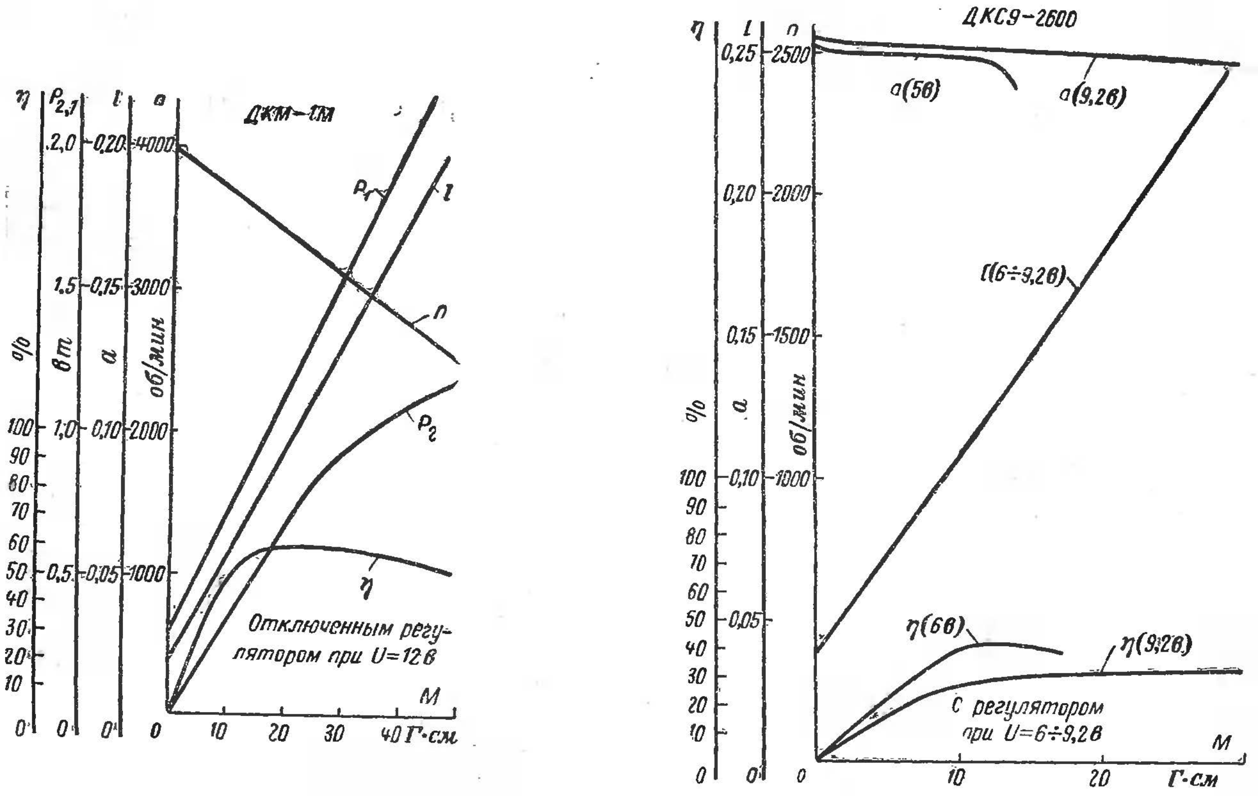

4ДКС-8
η
$P_{2,1}$
I
n
%
вт
а
об/мин
P_1
P_2
I
n
η
С отключенным регулятором при U=16 в
M
Г·см
ДКС-16
n(13 в)
n(8 в)
I(13 в)
I(8 в)
η(8 в)
η(13 в)
С регулятором при U=8÷13 в
Г·см



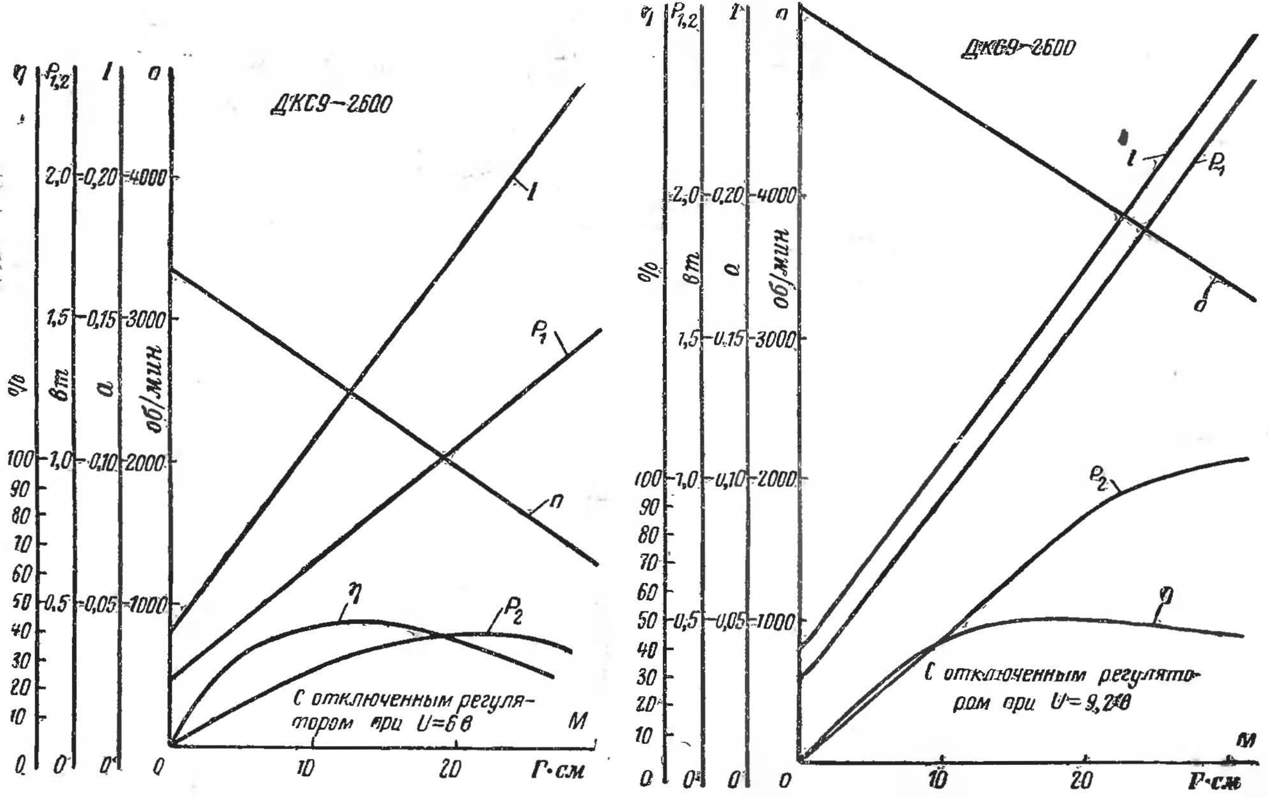
ДКС-16
η
$P_{1,2}$
I
n
%
вт
а
об/мин
I
P_1
P_2
n
η
С отключенным регулятором при U=8 в
M
Г·см
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0,5
1,0
1,5
2,0
0,05
0,10
0,15
0,20
1000
2000
3000
4000
ДКС-16
С отключенным регулятором при U=13 в

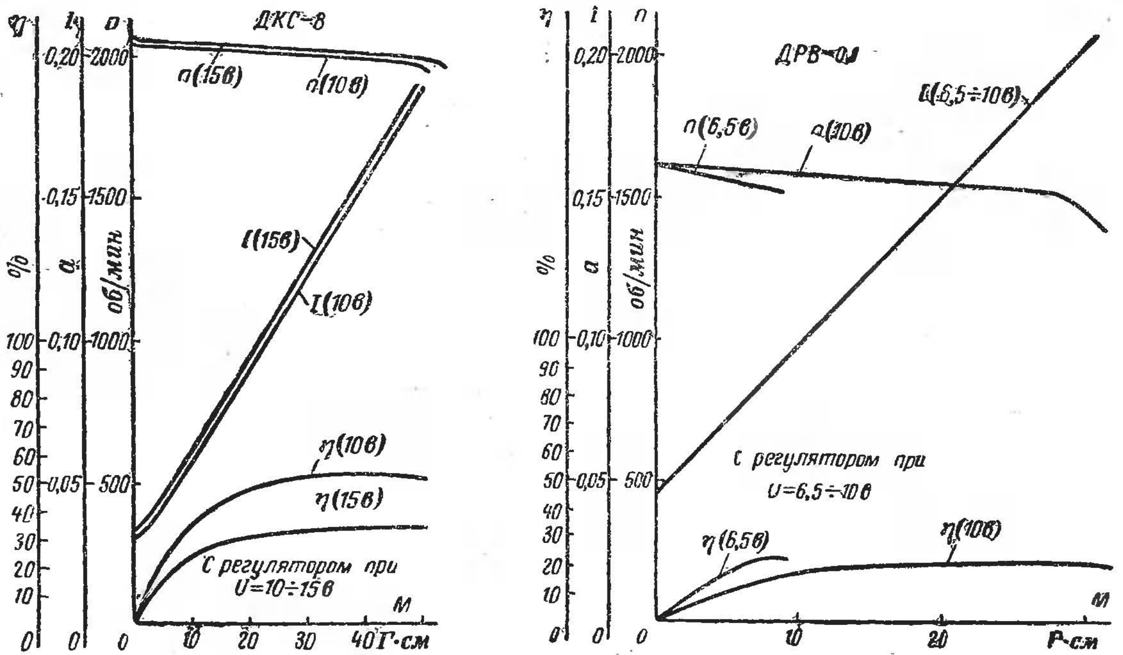


n(12 в)
n(9 в)
I (9 ÷ 12 в)
η (9 в)
η (12 в)
С регулятором при
U=9 ÷ 12 в
%
а
об/мин
0,20
2000
1000
500
0,05
Г·см
M
Д-КМ-1М
η
$P_{1,2}$
I
n
вт
об/мин
1,5
0,15
3000
1,0
0,10
0,5
P_1
P_2
С отключенным ре-
гулятором при U=9 в

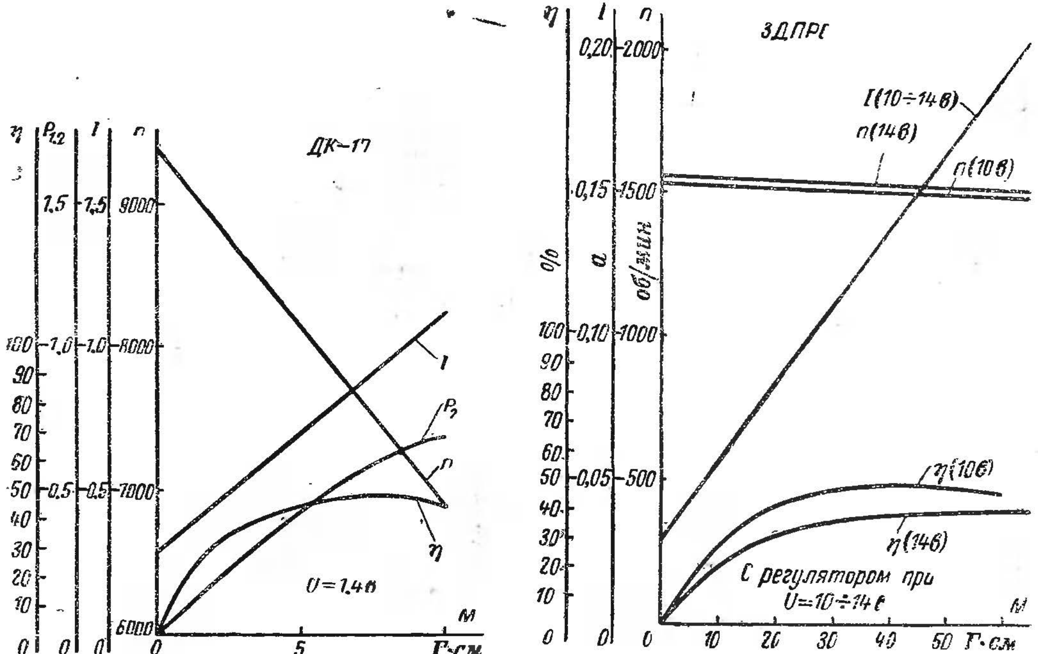


ДКМ-1М
η
$P_{2,1}$
I
n
%
вт
а
об/мин
2,0
0,20
4000
1,5
0,15
3000
1,0
0,10
2000
0,5
0,05
1000
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
0
0
10
20
30
40 Г·см
M
P_1
I
n
P_2
η
Отключенным регулятором при U=12 в
ДКС9-2600
η
I
n
0,25
2500
0,20
2000
0,15
1500
0,10
1000
0,05
%
а
об/мин
n(5в)
n(9,2в)
I(6÷9,2в)
η(6в)
η(9,2в)
С регулятором при U=6÷9,2 в
M
0
0
0
10
20
Г·см

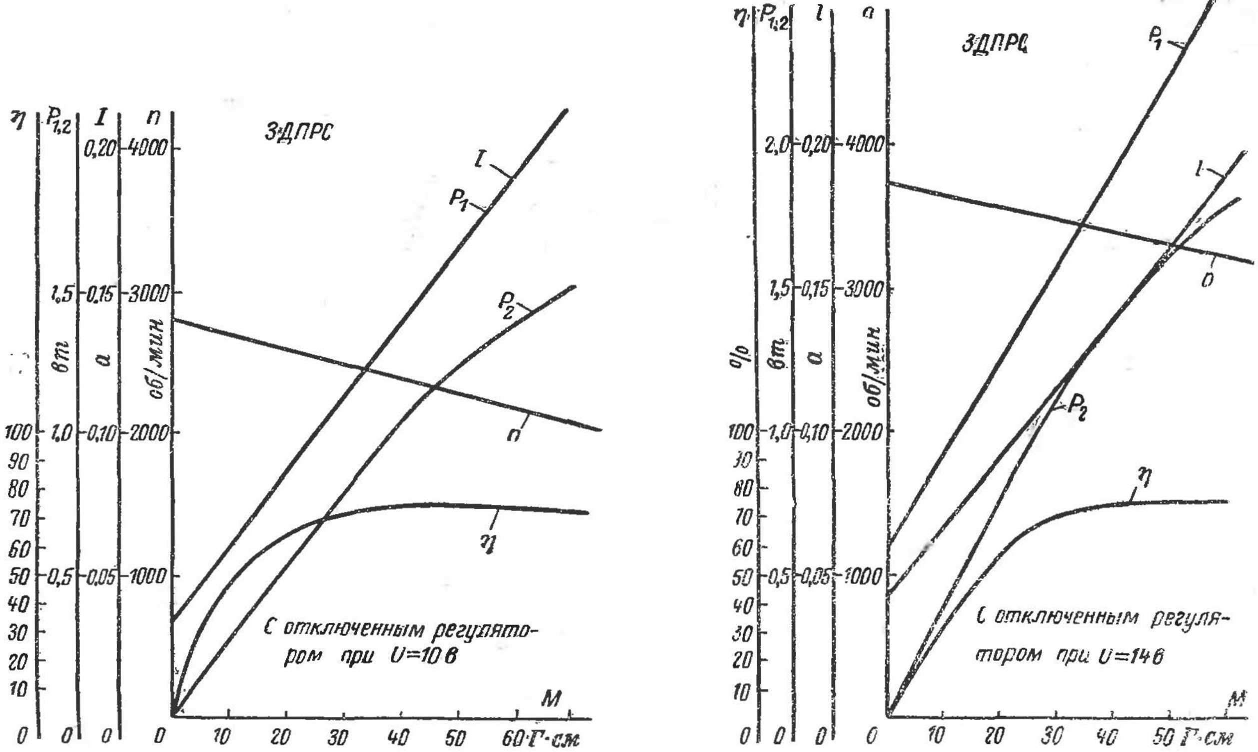

ДКС9—2600
С отключенным регулятором при U=6 в
ДКС9—2600
С отключенным регулятором при U=9,2 в
η
$P_{1,2}$
I
n
%
вт
а
об/мин
Г·см
M
P_1
P_2



ДКС-8
η
I
n
0,20
2000
n(15в)
n(10в)
0,15
1500
I(15в)
I(10в)
%
a
об/мин
100
0,10
1000
90
80
70
60
50
0,05
500
40
30
20
10
η(10в)
η(15в)
С регулятором при
U=10÷15в
M
0
10
20
30
40 Г·см
ДРВ-0,1
I(6,5÷10в)
n(6,5в)
n(10в)
С регулятором при
U=6,5÷10в
η(6,5в)
η(10в)
P·см



η
$P_{1,2}$
I
n
ДК–17
1,5
1,5
9000
100
1,0
1,0
8000
90
80
70
60
50
0,5
0,5
7000
40
30
20
10
6000
0
0
0
0
5
Г·см
M
I
P_2
n
η
U=1,4в
η
I
n
3ДПРГ
0,20
2000
I(10÷14в)
n(14в)
n(10в)
0,15
1500
%
а
об/мин
100
0,10
1000
90
80
70
60
50
0,05
500
40
30
20
10
0
0
0
η(10в)
η(14в)
С регулятором при
U=10÷14в
M
10
20
30
40
50
Г·см



3ДПРС
С отключенным регулятором при U=10 в
η
$P_{1,2}$
I
n
вт
а
об/мин
M
60 Г·см
3ДПРС
С отключенным регулятором при U=14 в
%
50 Г·см

Цена 28 коп.